ستيفن وينبرغ
الحائز على جائزة نوبل للفيزياء ١٩٧٩م

ترجمة
محمد وائل الأتاسي

الدقائق الثلاث الأولى

من عمر الكون



الدار المتحدة
للطباعة والنشر



الدقائق الثلاث الأولى

من عمر الكون



سورية - دمشق - شارع مسلم البارودي - بناء خولي وصلاحي رقم ٣٧
هاتف - ٢١٢٧٧٣ - ٢٢٦٤٤٣ - ص.ب ١١٧٢١ - برقياً: بيروشران - تلكس ٤١١٥٢٩ زعبول

ستيفن وينبرغ
الحائز على جائزة نوبل للفيزياء ١٩٧٩م

الدقائق الثلاث الأولى
من عمر الكون

ترجمة
محمد وائل الأتاسي

العنوان الأصلي للكتاب:

Steven Weinberg

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1979

Les Trois Premières minutes de l'univers

TRADUIT DE L'AMÉRICAN

PAR JEAN-BENOIT YELNIK

Edition du Seuil

الـدقائق الثـلاث الأولى من عمـر الكـون= **Les trois Premières minutes de l'univers** / تـأليف ستيفن وينبرغ: تـرجمة محمـد وائـل الأتـاسي. ـ ط١. ـ دمشق: وزارة الثقافة، ١٩٨٦. ـ ٢٣٩ص؛ ٢٥ سم.

حاز المؤلف على جائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٧٩.

ترجمه إلى الفرنسية عن الأميركية جان ـ بونوا ييلنيك.

بآخره تذييل رياضي.

١ ـ ٥٢٣,١ وي ن د ٢ ـ العنوان ٣ ـ وينبرغ ٤ ـ الأتاسي

مقدمة

ولـد هذا الكتـاب من محاضـرات قدمت في تشـرين الثاني عـام ١٩٧٣ لتدشين المركز العلمي للطلاب غير المتخرجين في جامعـة هارفـارد. وكان إ. غليكس Erwin Glikes (ناشر مؤسسة بازيـك بوكس Basic Books) قـد سمع عنها من صديق لنا هو د. بل Daniel Bell، فألح عليّ أن أجعل منها كتاباً.

في باديء الأمر لم تثر هذه الفكرة اهتمامي. فعلى الرغم من أنني كنت أقوم من حين إلى آخر ببحث كوسمولوجي صغير، إلا أن عملي الأساسي كان يستهدف فيزياء الأشياء الصغيرة جداً، أعنـي نظرية الجسيمات الأولية. أضف إلى ذلـك أن السنوات الأخيـرة كانت غنيـة إلى أقصى حد بتـطورات جـديـدة بالنسبة إلى فيزياء الجسيمات، بينما كنت حينذاك قد أمضيت مزيداً من الوقت في كتابة مقالات غير اختصاصية لمجلات مختلفة، لذلك شعرت برغبة في أن أوجه وقتي كله إلى موطني الطبيعي وهو مجلة الفيزياء.

ومع ذلك، فقـد تحققت بعد حين أنني لا أستـطيع أن أطـرد من ذهني فكرة كتاب عن بـداية الكـون، إذ ما الشيء الأكثـر استهواء للنفس من مشكلة «التكوين»؟ ففي بداية الكون، ولا سيمـا أول جزء من مئـة من الثانيـة الأولى، تمت الرابطة بين نظرية الجسيمات الأولية وبين الكوسمولوجية. ثم إن اللحظة التي نحن فيهـا الآن هي أنسب لحظة لـوضـع كتـاب عن بـدايـة الكـون، لأن السنوات العشر الأخيرة فحسب، هي التي شهدت ظهـور نظريـة مفصلة تشرح

مجرى الحوادث في بداية تاريخ الكون، وهذه النظرية، لقيت موافقة الأغلبية من رجالات العلم، لذلك نراها قد عمدت تحت اسم «النظرية القياسية».

فمما يثير اهتمامنا في نهاية هذه النظرية هو أننا نستطيع أن نقول بالضبط كيف كان الكون في نهاية الثانية الأولى، أو في نهاية الدقيقة الأولى، أو في نهاية السنة الأولى. إن إطمئنان الفيزيائي يأتي من أنه يستطيع معالجة هذه المسائل حتى الجانب العددي منها، وأنه يستطيع أن يذكر لنا أن درجة حرارة الكون في هذه اللحظة أو تلك، وكثافته، ومسلكه الكيماوي، كانت بهذا القدر أو على هذا النحو. طبعاً، ليس لدينا يقين مطلق في هذا المجال، إلا أنه من المثير حقاً أن نعتقد أننا نستطيع الآن أن نتحدث عن هذه القضايا بشيء من الطمأنينة. إن هذا الشعور، أو هذا التشويق، هو ما أود نقله إلى القراء.

عليّ أن أحدد إلى أي قارىء أتوجه بهذا الكتاب. لقد كتبته لذلك القارىء (أو القارئة) الذي يرغب في الدخول في تفاصيل البراهين دون أن يكون رياضياً أو فيزيائياً. فعلى الرغم من أنه كان عليّ أن أدخل أفكاراً علمية معقدة إلى حد ما، إلا أنه لا توجد رياضيات في الكتاب نفسه، هذا ما عدا قليلاً من الحساب، كما لا تحتاج قراءته إلا إلى القليل من المعارف المسبقة عن الفيزياء والفلك. وقد حاولت أن أكون حريصاً على تعريف كل كلمة علمية في لحظة استعمالي لها، وأضفت معجماً يضم تعاريف الكلمات الفلكية والفيزيائية، كما كتبت أعداداً مثل «مئة مليار» بالكلمات وحدها أكثر مما استعملت الطريقة العلمية المناسبة [١٠].

غير أن هذا لا يعني أنني حاولت تأليف كتاب سهل. فعندما يكتب قاضٍ لجمهور واسع، يفترض أن هذا الجمهور يجهل المصطلحات القضائية وتفاصيل قانون العقوبات، ولكنه لا يستهين به إلى حد السهولة، ولا يتوجه إليه بكلمات متعالية. وأنا أود أن أرد المجاملة هنا، فأتخيل القارىء قاضياً قديماً ذكياً، لا يعرف لغتي، ولكنه ينتظر أن يسمع بعض الحجج المقنعة قبل أن يكوّن لنفسه رأياً.

أما من أجل القاريء الذي يـرغب في متابعـة بعض الحسـابـات التي تشكـل خلفيـة للحجـج التي يبسـطهـا الكتـاب نفســه، فقـد زودتـه ببعض «الملحقات الرياضية». وسوية هـذه الملحقات هي سـوية السنتين الجـامعيتين الأولى والثانية للرياضيات والفيزياء. ولحسن الحظ أن معـظم الحسابـات التي تلعب دوراً هاماً في الكوسمولـوجية، هي في الحقيقـة سهلة إلى حد مـا، ولا تدخل دقائق النسبية العـامة والفيـزياء النـووية إلا هنـا وهناك. ومن يـود تعميق معارفه في هذا المجال على سوية تقنية متخصصة، سيجد قائمة بعدة مبـاحث متخصصة (ومنها كتابي) تحت عنوان «مراجع مقترحة».

كما أني أود أن أحدّ من موضوع كتـابي، إذ لا يمكن أن يكون في حـال من الأحوال كتاباً يعالج سائر جوانب الكوسمولـوجية. فهنـاك ميدان «تقليـدي» لهـذا العلم، مخصص بوجـه رئيسي لدراسـة بنى العـوالم الكبيـرة في الكـون الحالي: كالجدل حول الطبيعة بعـد المجريـة[1] للسدم الحلزونيـة، واكتشاف انحراف أطياف المجرات البعيدة نحو الأحمر وعـلاقته بـأبعادهـا عنا، ونمـاذج أينشتين ودي سيتر De Sitter وفريدمان Friedmann الكونية التي أسست على النظرية النسبية العامة، هذا عدا عن قضايـا أخرى غيـر هذه. لقـد سبق وشرح هـذا القسم من الكوسمـولوجيـة في مؤلفات ممتـازة، ولم تكن غايتي أن أقـوم بدراسة مستفيضة جامعة مانعة. إن الدراسـة في هذا الكتـاب تنصب على بدء الكون، وخاصة على التصور الجـديد للكـون البدائي الـذي أظهره إلى النـور اكتشاف الخلفية الكونية للأشعة الميليمترية في عام ١٩٦٥.

لا شك أن نظرية التوسع الكوني تؤلف عنصراً أساسياً من فهمنا الـراهن لبـدء الكون، لـذا كنت ملزمـاً بعـرض مـدخـل مـوجـز، في الفصـل الثـاني، للجوانب التقليديـة جداً في الكـوسمولـوجية. وأظن أن هـذا الفصل سيشكـل

---

(١) التعبيـر «بعد المجـرية» أو «خـارج المجريـة» أو «فوق المجـرية» يعني السـدم الواقعـة خـارج مجرتنا.

المترجم

قاعدة كافية لمساعدة القاريء ـ حتى الذي لا يملك أية معرفة كوسمولوجية مسبقة ـ على متابعة التطورات الحديثة للنظريات التي تتحدث عن بداية الكون، وهو ما خصصت له بقية الكتاب. ومع ذلك أشدد على توجيه عناية القاريء الذي يبحث عن مدخل معمق حول أقدم الأقسام من الكوسمولوجية، إلى أن يعود إلى المؤلفات التي أدرجت تحت عنوان «مراجع مقترحة»[٢].

بالمقابل، لا يوجد حسب معرفتي،أي عرض كامل مترابط لأحدث تطورات الكوسمولوجية. لذلك كنت ملزماً أن أزاول بنفسي عملاً صغيراً في البحث، يتعلق بوجه خاص بالمشكلة المثيرة التي يطرحها غياب بحث تجريبي عن المصدر الكوني للإشعاع المليمتري قبل عام ١٩٦٥ (وهذه النقطة نوقشت في الفصل السادس). ولكن ذلك لا يعني أنني أعتبر هذا الكتاب قصة ما بعدها قصة لهذه التطورات ـ إني أكن كثيراً من التقدير للعمل والتقصي اللذين يتطلبهما تاريخ العلم، فلا يمكن أن أتوهم أمراً كهذا، لا بل إن أمنيتي أن يستخدم مؤرخ حقيقي للعلم هذا الكتاب نقطة انطلاق ليكتب هذه القصة عن الأبحاث الكوسمولوجية في الأعوام الثلاثين الأخيرة.

إني أقر بالجميل للقائمين على دار النشر «بازيك بوكس»،لاقتراحهم أن أضع هذا المخطوط على صورة قابلة للنشر. كما أن نصائح زملائي الفيزيائيين والفلكيين كانت أغلى من أن أستطيع التعبير عن قيمتها.

وأود أن أشكر بوجه خاص ر. ألفر Ralph Alpher، ب. بورك Bernard Burke، ر. ديك Robert Dicke، ج. فيلد George Field، و. فاولر William Fowler، ر. هرمان Robert Herman، ف. هويل Fred Hoyle، ج. بيبلز Jim Peebles، أ. بينزياس Arno Penzias، ب. برس Bill Press، إ. بورسيل Ed Purcell، ر. واغونير Robert Wagoner، للجهد الذي أولوه لقراءة بعض أجزاء هذا الكتاب والتعليق عليها. وأتوجه بالشكر أيضاً إلى إ.

---

(٢) ألغي هذا القسم في الترجمة لأن المراجع المذكورة غير متوافرة في بلدنا.

المترجم

أزيموف Isaac Asimov، ي. برنار كوهين Y. Bernard Cohen، م. ليلر Martha Liller، ف. موريسون Philip Morrison، للمعلومات التي زودوني بها حول عدة نقاط اختصاصية، كما أعترف بالجميل لنيجل كالدر Nigel Calder لقراءته أول دفعة من هذا الكتاب قراءة كاملة، ولأنه تفضل بإبداء بعض الملاحظات الفطنة. ولا يمكن أن آمل في أن يكون هذا الكتاب الآن خالياً تماماً من الغموض أو الخطأ. ولكني على يقين من أنه الآن أكثر وضوحاً ودقة مما كان سيصير إليه، لو أنه خلا من العون الذي حظيت به منهم جميعاً.

ستيفن وينبرغ

كامبردج، ماساتشوستش

تموز ١٩٧٦

كلمة للمترجم:

لقد تفضل الدكتور بسام معصراني بقراءة هذا المخطوط، فله أسمى الشكر للملاحظات التي أبداها.

وائل أتاسي



الفصل الأول

مدخل

المارد والبقرة

في «الإدة الصغيرة» Jeume Edda، وهي مقتطفات من الأساطير النرويجية جمعها حوالي العام ١٢٢٠ القائد الإيسلاندي س. ستورليزون Snorri Sturleson، نعثر على تفسير لنشأة الكون. إذ تقول الإدة: «في البدء، لم يكن يوجد شيء، لا أرض ولا سماء فوقها، بل هاوية فاغرة. . . ولا وجود لعشب في أي مكان»: في شمال العدم وجنوبه، تمتد مناطق من الجليد والنار: نيفلهيم وموسبيلهيم (Niflheim, Musplheim). وحرارة الموسبيلهيم، تذيب قليلاً من جليد النيفلهيم. ومن قطرات السائل، ولد مارد هو إيمير Ymer. ترى ماذا كان يأكل؟ يبدو أنه كان ثمة بقرة، أدهولما Audhulma. ولكن ما الذي كانت تأكله هذه البقرة؟ لا بأس، لا بد أنه كان ثمة ملح أيضاً، وهكذا تتابع الأسطورة.

ليس في نيتي أن أسيء إلى أي إيمان ديني - حتى ولو كان إيمان الفايكينغ. ولكن، أظن أني على حق حين أقول، إن هذا الوصف لنشأة الكون ليس مرضياً. فحتى لو تركنا جانباً الاعتراضات التي تستدعيها أدلة «قال عن قيل»، فإن هذه القصة، تثير من المشاكل بقدر ما تحل، وكل رد على اعتراض، سيجرنا إلى تعقيد جديد في الظروف الابتدائية.

إلا أن الإدة يجب ألا تبعث على الابتسام، وألا تدعنا نهمل كل تأمل كوسمولوجي - فالرغبة في إعادة رسم تاريخ الكون منذ نشأته، هي رغبة ملحة

لا يمكن دفعها. ومنذ ولد العلم الحديث في القرنين السادس عشر والسابع عشر، ما انفك الفيزيائيون والفلكيون يقلِّبون مسألة أصل الكون على كل جوانبها. إلا أن هذه الأبحاث كانت لها دائماً سمعة سيئة إلى حد ما. وأذكر أن دراسة أصل الكون في الفترة التي كنت فيها طالباً، وعندما بدأت أبحاثي الخاصة (حول أمور أخرى) في الخمسينات، كانت تعد بوجه عام نوعاً من الأمور التي لا يصح لعالم محترم أن يضيع وقته فيها. وهذا حكم لا يفتقر مع ذلك إلى أساس. ففي الجزء الأكبر من تاريخ الفلك والفيزياء، لم يكن هناك، وبكل بساطة، ما يكفي من المشاهدات ولا من الأسس النظرية، لوضع تاريخ لنشوء الكون.

ولكن الأمور تغيرت في السنوات العشر الأخيرة، إذ إن نظرية عن أصل الكون، شاعت جداً، حتى أن الفلكيين يدعونها غالباً «النموذج القياسي». وهذه النظرية، هي تقريباً النظرية المسماة «الانفجار العظيم» (بيغ بانغ big bang)، ولكنها فاقتها بالحبكة والوصف الأكثر دقة حول محتوى الكون.

ولكي تكون الصورة أكثر وضوحاً للقارىء، قد يكون مفيداً أن نبدأ بتلخيص قصة الكون كما يعرضها حالياً هذا النموذج القياسي. فما سنعرضه الآن لا يتعدى إلمامة قصيرة شاملة. بينما ستدخل الفصول التالية في تفاصيل هذه القصة، وستشرح ما لدينا من أسباب تدعونا لأن نعطيها رصيداً من العناية.

في البدء، حدث انفجار، ولكنه ليس انفجاراً كالذي يمكن أن نشاهده على الأرض، (فهذا الانفجار الأخير ينطلق من مركز معين ويمتد حتى يشمل حجماً متزايداً من الهواء المحيط به) وإنما هو انفجار حدث في كل مكان وفي آن واحد، فملأ الفضاء كله منذ البدء، وهرب كل جسيم عن كل ما عداه. وقولنا هنا «الفضاء كله» يمكن أن يعني كل فضاء كون لا منته، مثلما يعني كل فضاء كون منتهٍ، أي منحنٍ منغلق على نفسه كسطح الكرة. حقاً، لن يسهل علينا تصور الإمكانية الأولى، ولا الثانية، غير أن هذه الصعوبة لن تمنعنا من

المتابعة. وكون الفضاء منتهياً أو غير منتهٍ، أمر لا أهمية له من الناحية العملية عند بدء الكون.

بعد حوالي جزء من مئة من الثانية ـ وهي أقدم لحظة يمكن أن نتحدث عنها بشيء من الإطمئنان والثقة ـ هبطت درجة حرارة الكون إلى ما يقرب من مئة مليار (10^{11}) درجة مئوية. وهذه أسخن من مركز أكثر النجوم حرارة، لا بل إنها حارة إلى حد أن كل مكونات المادة العادية: الجزيئات، الذرات، وحتى النوى الذرية، لا يمكن أن تحتفظ بتماسكها. وبدلاً من هذه العناصر المركبة، كانت المادة المضطربة في أثناء هذا الانفجار، مكونة من مختلف أشكال «الجسيمات الأولية» (التي دعيت هكذا)[1]، أي تلك الجسيمات التي هي موضوع الفيزياء النووية الحديثة في الطاقات العالية.

هذه الجسيمات، سنصادفها دائماً في هذا الكتاب، ولكننا سنكتفي الآن بتسمية تلك التي كانت أكثرها عدداً في بداية الكون، ونؤجل الشروح الأكثر تفصيلاً للفصلين الثالث والرابع. إن الجسيمات التي كانت بوجه خاص وفيرة في بداية الكون هي الإلكترونات، وهي جسيمات مشحونة بكهرباء سالبة، وهي أيضاً الجسيمات التي تنتقل بأعداد كبيرة في الأسلاك المعدنية لتشكل التيارات الكهربائية، كما تؤلف القسم الخارجي من ذرات الكون الحالي وجسيماته. وكان هناك في البدء نوع آخر من الجسيمات العديدة جداً، هي البوزيترونات، وهي مشحونة إيجاباً، وكتلتها هي كتلة الإلكترونات بالضبط. هذه البوزيترونات، لا نجدها حالياً في الكون إلا في المخابر ذات الطاقة العالية، أو في أثناء بعض العمليات الإشعاعية، أو في ظواهر فلكية عنيفة كالأشعة الكونية والسوبرنوفا[2]. ولكن في البدء كان هناك من البوزيترونات

---

(١) يقصد المؤلف أنها دعيت هكذا، في السابق، ولكن تبين أنها ليست أولية كما سنرى في نهاية الكتاب.

المترجم

(٢) السوبرنوفا Super-Nova (أو النجوم الجديدة الفائقة) هي نجوم تظهر فجأة باشراق هائل في

بقدر ما كان هناك من الإلكترونات تقريباً. وعلاوة على الإلكترونسات والبوزيترونات، كان هناك، وبأعداد متقاربة، مختلف أنواع النوترينو، وهي جسيمات شبحية لا كتلة لها ولا شحنة. وأخيراً، كان الكون مفعماً بالضياء. ولكن الضوء يجب ألا يعد شيئاً بعيداً أو منفصلاً عن الجسيمات. لقد علمتنا النظرية الكوانتية أن الضوء مكون من جسيمات ذات كتلة وشحنة معدومتين تدعى فوتونات. ففي كل مرة تنتقل فيها ذرة داخل السلك الصغير في مصباح كهربائي من حالة طاقة إلى أخرى أخفض منها، ينطلق فوتون. ومن أنبوب كهربائي مثلاً (أي مصباح)، يصدر عدد كبير من الفوتونات، حتى لتبدو على شكل دفقة متصلة من النور. ولكن يمكن لخلية ضوئية أن تعد الفوتونات فرادى، (أي واحداً فواحداً). وكل فوتون ينقل كمية حركة وطاقة محددتين تتوقفان على طول موجة الضوء. ولكي نصف الضوء الذي كان يملأ الكون في البدء، نستطيع أن نقول إن عدد الفوتونات وطاقتها الوسطى كانا مساويين تقريباً تلك التي للإلكترونات والبوزيترونات والنوترينو.

كانت هذه الجسيمات ـ الإلكترونات، البوزيترونات، النوترينوات، الفوتونات ـ تولد بلا انقطاع من الطاقة الصرفة، ثم تتلاشى من جديد بعد حياة قصيرة. فعددها لم يكن محدداً سلفاً، ولكنه كان ثابتاً نتيجة للتوازن بين عمليات الخلق والتلاشي. واعتماداً على هذا التوازن، يمكن أن نستنتج أن كثافة هذا الحساء الكوني في درجة حرارة مئة مليار، كانت تساوي أربع مليارات مرة (٤×١٠^٩) كثافة الماء. وكانت توجد كذلك نسبة ضعيفة من الجسيمات الأثقل: البروتونات والنوترونات، أي الجسيمات التي تشكل حالياً نوى الذرات (البروتونات مشحونة إيجاباً، والنوترونات ـ وهي أثقل قليلاً ـ حيادية كهربائياً، أي لا شحنة لها، والإثنان يوضعان معاً تحت اسم نوكليونات).

أماكن لم يكن يظهر فيها نجم من قبل، ثم تختفي لتعود إلى الظهور بعد فترة. والسوبرنوفا هي أكثر إشراقاً من النوفا ولكنها أندر منها (راجع شرح المفردات العلمية في آخر الكتاب).
المترجم

وكانت هذه النسبة تقرب من بروتون واحد ونوترون واحد لكل مليار إلكترون أو بوزيترون أو نوترينو أو فوتون. إن هذا العدد ـ مليار فوتون مقابل كل نوكليون ـ هي الكمية الأساسية التي يجب تعيينها لبناء صرح النموذج القياسي. وقد ساعد اكتشاف خلفية الإشعاع الكوني (التي ستكون موضوع الفصل الثالث) على قياس هذا العدد بالضبط.

وكلما تابع الانفجار سيره هبطت درجة الحرارة: أولاً إلى ٣٠ مليار (٣×١٠^١٠) درجة مئوية بعد حوالي عُشر الثانية، ثم إلى ١٠ مليارات درجة بعد ثانية، ثم إلى ٣ مليارات درجة بعد أربع عشرة ثانية. وهذه حرارة تكفي برودتها لأن يتسنى للإلكترونات والبوزيترونات أن تبدأ التلاشي بسرعة أكبر من أن يمكنها أن تولد من جديد من الفوتونات والنوترينو. والطاقة المحررة من هذا التلاشي، أبطأت إلى حين ابتراد الكون. غير أن درجة الحرارة استمرت مع ذلك بالهبوط، حتى بلغت أخيراً في نهاية الدقائق الثلاث الأولى مليار درجة. وهذه الحرارة منخفضة إلى الحد الكافي الذي يتيح للبروتونات والنوترونات أن تكوّن معاً نوى الذرات المعقدة، مبتدئة من نواة الهيدروجين الثقيل (أو الدوتريوم) المكون من بروتون واحد ونوترون واحد. وكانت الكثافة لا تزال مرتفعة إلى حد ما (أقل قليلاً من كثافة الماء) بحيث كان باستطاعة هذه النوى الخفيفة أن تتجمع بسرعة لتكوّن نواة خفيفة أكثر استقراراً، وهي نواة الهيليوم التي تحتوي على بروتونين ونوترونين.

في نهاية الدقائق الثلاث الأولى،كان محتوى الكون مؤلفاً بصورة أساسية من الضوء، والنوترينوات، والنوترينوات المضادة، وكانت هناك أيضاً كمية صغيرة من النوى الذرية، التي كان ٧٣ ٪ منها من الهيدروجين، و ٢٧ ٪ منها هيليوم، وكمية قليلة أيضاً من الإلكترونات التي استمرت موجودة بعد فترة تلاشي الإلكترونات مع البوزيترونات. وهذه المادة كلها، نظراً لاستمرارها في الانتثار، فقد ظلت حرارتها وكثافتها تتناقصان بانتظام. وبعد زمن طويل، أي بعد بضعة آلاف من السنين، انخفضت الحرارة إلى حد يكفي لأن تأسر النوى الإلكترونات، مكوّنة بذلك (معها) ذرات الهيدروجين والهيليوم. وعندئذ تكاثف

الغاز المتشكل هنا وهناك تحت تأثير قوى الجاذبية، إلى أن انتهى هذا التكاثف إلى انهيار المادة على ذاتها لتكون مجرات الكون الحالي ونجومه. ولكن المقومات الضرورية لولادة النجوم كانت مهيأة سلفاً في نهاية الدقائق الثلاث الأولى.

إن هذا النموذج القياسي، الذي رسمنا خطوطه العامة، ليس أكثر النظريات التي نستطيع تخيلها إقناعاً لتفسير نشأة الكون. فهو ينطوي على عدم اليقين نفسه، وحتى حول البدء ذاته، أي حول الجزء الأول من المئة من الثانية الأولى الذي نجده في أسطورة الإدة الفتية. ثم إنه يتطلب لسوء الحظ اختيار الظروف الابتدائية، لا سيما النسبة الابتدائية لجسيم نووي من أجل كل مليار فوتون. لقد كنا نفضل نظرية تتصف بالحتمية القوية.

مثال ذلك، النموذج المسمى «الاستقراري» Steady State، فهو يبدو أكثر إغراء من وجهة نظر فلسفية. فبحسب هذه النظرية التي اقترحت في نهاية الأربعينات من قبل هـ. بوندي Herman Bondi، وت. غولد Thomas Gold، (وبصيغة مختلفة نوعاً ما من قبل ف هويل Fred Hoyle)، كان الكون دائماً كما هو الآن بالضبط: هناك خلق دائم للمادة يصاحب انتشارها، ويشغل الفضاء الفارغ الذي تتركه المادة بين المجرات. فهذه النظرية يمكنها افتراضياً أن تفسر لماذا كان الكون على الصورة التي نعرفها الآن. فهي تقول إنه كان دائماً هكذا. أما مسألة نشأة الكون فقد أفرغت من مضمونها، إذ لا يوجد بدء للكون.

هنا نتساءل، ترى، لماذا اقترح إذاً النموذج القياسي؟ ولماذا احتل مكانة النظريات الأخرى كالنموذج الاستقراري مثلاً؟ إن هذا الإجماع ليس ثمرة ميل فلسفي أو تأثير زعماء في الفيزياء الفلكية، بل إنه كان نتيجة لضغط وقائع اختبارية. وهذه نتيجة يمكن أن تضم إلى رصيد موضوعية الفيزياء الفلكية الحديثة.

إن الفصلين القادمين سيصفان لنا المؤشرين الأساسيين اللذين قدمتهما

لنا الأرصاد الفلكية، واللذين أدّيا بنا إلى النموذج القياسي، وهما اكتشاف هروب المجرات البعيدة، واكتشاف الحقل الهيرتزي الضعيف الذي يملأ الكون. وهذه حكاية مشوقة لمؤرخ العلوم، فهي غنية بالمنطلقات المزيفة، والفروض الضائعة، والأحكام النظرية المسبقة، وهي ممهورة أيضاً بطابع المزاج الشخصي.

وسأحاول في هذا العرض للكوسمولوجية الرصدية أن أرتب الحقائق التجريبية بطريقة نصل منها إلى صورة مترابطة عن الظروف الفيزيائية التي كانت سائدة في بداية الكون. إذ سيساعدنا ذلك على العودة إلى الدقائق الثلاث الأولى بتفصيل أكثر. وسنلجأ (من أجل ذلك) إلى طريقة العرض السينمائي التي تبدو هنا ملائمة للغرض، فنتأمل توسع الكون وابترادِه وتحضيره لكوننا الحالي، متصفحين سويات المشهد واحدة بعد الأخرى. وسنحاول كذلك أن نقترب من عصر ما زال مغلفاً بالغموض، ألا وهو أول جزء من مئة من الثانية الأولى.

ترى، أبإمكاننا أن نكون مطمئنين حقاً للنموذج القياسي؟ ألن تبطله اكتشافات جديدة تضطرنا للاستعاضة عنه بنظرية كونية أخرى؟ ألن تُعطى الأفضلية حتى، من جديد، للنموذج الاستقراري نفسه؟ ربما، فأنا لا أستطيع أن أنفي شعوري الخاص باللاواقعية عندما أكتب عن الدقائق الثلاث الأولى وكأنني أعرف حقاً ما أتحدث عنه.

ومهما يكن من أمر، فحتى لو استعيض عن النموذج القياسي بنموذج آخر، فإنه سيظل ذا دور هام جداً في تاريخ الكوسمولوجية. إذ إن شعورنا بقيمة وأهمية الأفكار النظرية في الفيزياء أو في الفيزياء الفلكية، عند دراستنا لنتائجها في إطار النموذج القياسي، أمر جدير الآن (أو منذ عشر سنوات على الأقل) بالتقدير. فالاعتماد على النموذج القياسي لتبرير برنامج للأرصاد الفلكية هو تطبيق شائع. كما يقدم النموذج القياسي للنظريين، وللراصدين، لغة أساسية مشتركة تساعدهم على تقدير نتائج الأعمال التي يتبادلونها فيما

بينهم. وإذا استبدلت يوماً ما نظرية أفضل بالنموذج القياسي، فإن ذلك سيكون ولا شك بسبب ملاحظات أو حسابات أدى هو نفسه إليها.

في الفصل الأخير، سأتحدث عن مستقبل الكون، فمن الجائز أن يوالي توسعه إلى الأبد، وأن يصبح أكثر فأكثر برودة، فيغدو بارداً ميتاً. أو على العكس، قد ينكمش محطماً المجرات والنجوم والذرات والنوى الذرية حتى لن يدع سوى الجسيمات الأولية التي تكون الذرات. وعندئذ، سيعاد، من أجل التنبؤ بمجريات الدقائق الثلاث الأخيرة، عرض كل القضايا التي سنتعرض لها الآن لفهم مجريات الدقائق الثلاث الأولى. (ولكن بترتيب معاكس طبعاً).

الفصل الثاني

توسع الكون

يعطينا منظر السماء في الليل شعوراً قوياً بأن الكون ساكن لا حراك فيه. ومع أن الغيوم يمكن أن تمر تباعاً أمام القمر، والسماء تدور حول نجم القطب، وعلى مدى زمن أطول يكبر القمر نفسه وينقص، وتنتقل السيارات على السماء المرصعة بالنجوم، ولكننا نعلم اليوم أن هذا الأمر لا يعدو كونه ظواهر راجعة إلى أسباب موضعية ناشئة عن الحركات التي تقوم بها منظومتنا الشمسية. وفيما عدا السيارات فإن النجوم تبدو ثابتة (بعضها بالنسبة إلى بعض).

والحقيقة، إن النجوم تنتقل بسرعات قد تبلغ بضع مئات الكيلو مترات في الثانية، وهكذا قد يقطع نجم سريع في العام عشرة مليارات كيلو متر. ولكن هذه المسافة لا تشكل سوى جزء من ألف من المسافة التي تفصلنا عن أقرب النجوم إلينا، لذلك لا تتبدل أوضاعها في السماء إلا ببطء شديد (فمثلاً النجم السريع إلى حد ما، المعروف باسم نجم بارنار، يبعد عنا بما يقرب من ٥٦ ألف مليار كيلومتر، وهو ينتقل في اتجاه عمودي على خط الرؤية بحوالي ٨٩ كيلو متراً في الثانية، أي ٢,٨ مليار كيلو متر في السنة، وهذا الانتقال يقابله انتقال زاوي سنوي قدره ٠,٠٠٢٩ درجة). إن الفلكيين يدعون هذا الانتقال الظاهري للنجوم القريبة «حركة خاصة». إن الأوضاع الظاهرية للنجوم البعيدة تتغير ببطء، حتى أن الملاحظة الدؤوبة لا يمكن أن تكشف عن حركاتها الخاصة. ولكننا سنرى أن هذا الانطباع عن سكونيتها هو وهم. إن

المشاهدات التي سنتحدث عنها في هذا الفصل ستكشف لنا عن أن الكون في حالة انفجار عنيف، وأن الجزر الكبيرة من النجوم التي يسميها الفلكيون مجرات، يهرب بعضها من بعض بسرعة تداني سرعة الضوء. فإذا قسنا الماضي على الحاضر، أي أن المجرات كانت تهرب أيضاً فيما مضى بعضها عن بعض، في مجرى الزمن، عندئذ يمكننا أن نستنتج أن سائر المجرات كانت في الماضي شديدة القرب بعضها من بعض، بل وقريبة إلى حد أن المجرات والنجوم، وحتى الذرات أو النوى الذرية، لم يكن ممكناً لها أن تتمايز بوجود خاص مستقل. وهذا العصر (الماضي البعيد) هو ما ندعوه «بداية الكون» وهو ما سندرسه في هذا الكتاب.

إن معرفتنا عن توسع الكون تعتمد كلياً على مقدرة الفلكيين على قياس حركة جسم مضيء في الاتجاه الذي نراه فيه. فهم يقيسونها بدقة أكبر كثيراً من دقة قياسهم لحركته في الاتجاه العمودي على هذا الاتجاه (الأول). وتستخدم تقنية هذا القياس خاصةً معروفة تماماً تسمى مفعول دوبلر Doppler، وهي خاصة مشتركة بين سائر الحركات التموجية. فعندما نلاحظ موجة صوتية صادرة عن منبع ساكن، فإن الفترة الزمنية التي تفصل بين استقبال عرفي موجة متتابعين (أي دور الظاهرة التموجية) هي الفترة نفسها التي تفصل بين إصدارهما من المنبع. أما إذا كان المنبع مبتعداً عنا، فإن الفترة الفاصلة بين استقبال عرفين، ستكون أطول من الفترة الفاصلة بين إصدارهما، لأن كل عرف يجب أن يجتاز حتى يصل إلينا طريقاً أطول قليلاً من السابق... وعلى هذا، فإن الموجة الصادرة عن منبع يبتعد عنا، ستبدو لنا ذات دور أكبر ـ أو تواتر أضعف ـ مما لو كان المنبع ساكناً (وبدقة أكثر: إن الدور يزداد بنسبة سرعة المنبع إلى سرعة انتشار الموجة. وهذا ما سنبرهن عليه في الملحق الرياضي الأول). وللأسباب نفسها، إذا كان المنبع يقترب منا، فإن الفترة الزمنية التي تفصل بين استقبال عرفين متتابعين تنقص، لأن على الثاني أن يجتاز مسافة أقصر من الأول. وعلى هذا فإن الموجة ستبدو لنا عند الاستقبال ذات دور أصغر. مَثَلُ ذلك كمسافر في تجارة يرسل رسائله إلى مكتبه في

أثناء سفره وعلى فترات منتظمة مدة كل منها أسبوع. فعندما يبتعد، لا بد أن تجتاز كل رسالة مسافة أطول من سابقتها، والمدة التي تفصل بين استقبالين ستكون أطول من أسبوع. أما في طريق العودة، فإن كل رسالة ستجتاز مسافة أقصر من سابقتها، وسيصل إلى مكتبه أكثر من رسالة في الأسبوع.

وفي أيامنا هذه يمكن أن نلاحظ مفعول دوبلر بسهولة في حالة الأمواج الصوتية. إذ يكفي أن نقف على حافة طريق سفر ذات اتجاه واحد، فنلاحظ أن ضجيج محرك السيارة يبدو أكثر حدة (أي أن دوره أصغر وتواتره أكبر) عندما تقترب السيارة مما هو عندما تبتعد. ويبدو أن جوهان كريستيان دوبلر، أستاذ الرياضيات في ريلشول في براغ، كان أول من أشار إلى هذه الظاهرة (عام ١٨٤٢)، وذلك في حالة الأمواج الصوتية كما في حالة الأمواج الضوئية. وقد تحقق من مفعول دوبلر في الصوت عام ١٨٤٥ عالم الأحوال الجوية الهولاندي كريستوفر هنريش ديتشر بايز ـ بالو Buys-Ballot في أثناء تجربة شاعرية. إذ نقلت فرقة من عازفي الترومبيت في عربة سكة حديد مكشوفة اجتازت الريف الهولاندي بسرعة كبيرة في ضواحي أوتريخت. وقد اعتبرت هذه الفرقة منبعاً صوتياً متحركاً. أما بالنسبة إلى الأمواج الكهرطيسية، فهي تنتشر في الفراغ بسرعة ثابتة كونياً (يشار إليها عادة بالحرف c). وعلى هذا فإن تغير الدور الناتج عن مفعول دوبلر، سيترجم بالنسبة إلى هذه الأمواج بتغير يتناسب مع طول موجتها، أي مع المسافة المقطوعة خلال دور (انظر الملحق الرياضي ١).

وقد فكر دوبلر في أن «المفعول المنسوب إليه» يمكن أن يفسر اختلاف اللون بين النجوم. فضوء النجوم التي تبتعد عن الأرض سينزاح نحو الأطوال الموجية الأكبر، وستبدو هذه النجوم أكثر احمراراً من المعدل، وذلك لأن طول موجة الضوء الأحمر أكبر من طول الموجة الوسطي للضوء المرئي. وكذلك فإن ضوء النجوم التي تقترب من الأرض سينحرف نحو الأطوال الموجية الأصغر، وستبدو هذه النجوم زرقاء بشكل غير عادي. ولكن بايز ـ بالو وآخرون بينوا بعد حين أن مفعول دوبلر ليس له أثر يذكر في لون النجوم.

ذلـك لأن الضوء الأزرق لنجم يبتعـد عنا، سينحـرف حقاً نحـو الأحمر، ولكن قسماً من إشعاعه فوق البنفسجي، الـذي لا يرى عـادة بالعين، سينحـرف نحو القسم الأزرق من طيفه المرئي، بحيث أن اللون النهـائي لن يطرأ عليـه عملياً تعديل ما. وإذا كان للنجوم ألوان مختلفـة، فذلـك قبل كـل شيء لأن درجات حرارتها السطحية مختلفة.

وقد بدأ مفعول دوبلر يكتسب حقاً أهمية عظيمة منذ عام ١٨٦٨، وذلك عنـدما طُبِّق على دراسـة خطوط الـطيف فرادى. إذ كـان عـالم بصـريـات من ميونيخ هو ج. فراونهوفر Joseph Frauenhover قد اكتشف قبل ذلـك بسنوات عديدة (١٨١٤ ـ ١٨١٥) أنه عندمـا نجعل ضـوء الشمس يمر في شق، ثم يعبر موشوراً زجاجياً، فإنه يولد طيفاً ملوناً تقـطعه بعض الخـطوط المعتمة التي كـل منها صورة للشق (وكان بعض من هذه الخطوط قد لاحـظه قبل ذلـك و. هـ. وولاستون William hyde Wollaston في عام ١٨٠٢، ولكنهـا لم تخضع في ذلك الحين لدراسة جدية). وكانت الخطوط المعتمة تـظهر دائمـاً عند الألـوان ذاتها، وكل منها يقابله طول موجة محدد من الضوء. وخطوط الـطيف المعتمة ذاتها اكتشفها فـرانهاوفر في الأماكن ذاتها من طيف القمر وأكثر النجوم لمعاناً. وقـد فهموا بعـد حين أن هذه الخـطوط المعتمة نـاتجة عن امتصـاص انتقـائي للضوء، أي عند أطـوال موجـات معينة، وذلـك عندمـا يمر الضـوء من السطح الساخن للنجوم إلى جوها الخارجي الذي هو أبرد نسبيـاً. وكل خط هـو نتيجة امتصاص جسم كيميائي محدد للضوء. وعلى هـذا يمكن أن نبين أن الأجسام الكيماوية التي تكوّن الشمس، كالصـوديوم والحـديد والمغنيـزيوم والكـالسيوم والكروم، هي ذاتها التي نجدها على الأرض (ونعلم حالياً أن أطوال الموجات المعتمة هي بالضبط أطوال موجات الفوتـونات التي تحمـل الطاقـة الضرورية لجعل ذرة من هذه الأجسام تنتقل من حالة معينة للطاقة إلى حالة أعلى).

وفي عام ١٨٦٨ نجح السير و. هاغينـز William Huggins في البرهـان على أن الخـطوط المعتمة في أطيـاف بعض النجوم الأكثـر لمعانـاً، منحـرفـة انحرافاً خفيفاً نحو الأحمر أو نحو الأزرق، وذلك بالنسبة إلى أوضاعها الطبيعية

في الطيف الشمسي. وقد أعطى هاغينز يومئذ التأويل الصحيح لهذه الظاهرة: إننا أمام انحراف دوبلر الناشيء عن حركة النجم الذي يبتعد عن الأرض أو يقترب منها. وهكذا فإن طول موجة كل خط من الخطوط المعتمة في طيف النجم كابيلا Capella (العنزة) أكبر من طول موجة الخط المعتم الموافق له، العائد لطيف الشمس، وذلك بنسبة ٠,٠١ ٪، وهذا الانحراف نحو الأحمر يشير إلى أن كابيلا يبتعد عنا بنسبة ٠,٠١ ٪ من سرعة الضوء، أي بسرعة ٣٠ كيلو متراً في الثانية. وفي عشرات السنين التي تلت ذلك، استخدم مفعول دوبلر لتعيين سرعة الاندفاعات الشمسية والنجوم المزدوجة وحلقات زحل.

إن قياس السرعات بملاحظة انحرافات دوبلر، هي تقنية دقيقة أصلاً، لأن أطوال الموجات العائدة لخطوط الطيف يمكن تعيينها بدقة كبيرة جداً، وليس نادراً أن نجد في الجداول قيم أطوال الموجات بثمانية أرقام معنوية. ثم إن هذه التقنية تحتفظ بدقتها مهما كان بعد المنبع الضوئي، ولكن بشرط وحيد هو أن يكون لمعان النجم كافياً بحيث يمكن تمييز خطوط طيفه من تألق سماء الليل.

وباستخدام مفعول دوبلر عرفنا السرعات النجومية النموذجية الواردة في بداية هذا الفصل. كما يزودنا مفعول دوبلر بمعلومات عن أبعاد النجوم القريبة. فإذا استطعنا أن نقدر اتجاه حركة نجم، أعطانا انحراف دوبلر عندئذ سرعته في اتجاهين، في اتجاه رصده كما في الاتجاه العمودي عليه، بحيث أن قياس حركته الظاهرية على القبة السماوية يساعدنا على حساب بعده. ولكن مفعول دوبلر لم يعطنا نتائج ذات أهمية كوسمولوجية إلا عندما شرع الفلكيون في دراسة أطياف الأشياء الأبعد كثيراً من النجوم المرئية.

لقد بدأنا هذا الفصل بتأمل السماء الليلية، وتحدثنا عن القمر والسيارات والنجوم. ولكننا نشاهد علاوة على ذلك شيئين أكثر أهمية من وجهة النظر الكوسمولوجية، وهما ما يمكننا الحديث عنهما.

أحدهما متألق ملفت للنظر، حتى أننا نستطيع مشاهدته عبر دخان

المدينة وأضواثها. ونعني به، ذلك الشريط الوضاء الذي يبدو كأنه دائرة كبيـرة حول القبة السماوية. وهو معروف منذ القدم تحت إسم درب اللبانة. وفي عام ١٧٥٠، نشـر صانـع أدوات إنجليزي هـو ت. رايت Thomas Wright كتـابـاً مرموقاً تحت إسم **نظرية أصيلة أو فرضية جديدة للكون**، وقد اقترح فيه أن النجوم مجمعة على صورة رحى مفلطحة «حجـر طاحـون»، هي ذات سماكـة منتهية،ولكنها ممتدة جداً في سائر اتجـاهات مستـويها. والمجمـوعة الشمسيـة موجودة داخل هذه الرحى، وأنه من الـطبيعي إذاً أن نرى ونحن على الأرض، ضوءاً أكثر عندما نوجه نظرنا وفق هذا المستوى (أي مستـوى الرحى) ممـا نراه في الاتجاهات الأخرى. لذلك يبدو لنا درب اللبانة على هذا الشكل.

لقد تأكدت نظرية رايت منذ زمن طـويل، ويعتقـد اليوم أن درب اللبـانة هو قرص مفلطح مكون من نجوم، وأن قـطره ٨٠٠٠٠ سنة ضـوئية، وسمـاكته ٦٠٠٠ سنة ضوئية. ثم إنه محـاط بهالـة كرويـة من النجوم قـطرها يقـرب من ١٠٠٠٠٠ سنـة ضوئيـة. وتقدر كتلتـه عامـة بمئة مليـار مرة من كتلة الشمس، ولكن بعض الفلكيين يقدِّرون أن هناك كتلة إضافية هامة إلى حـد ما يمكن أن تكـون موجـودة في هالـة أكثر امتـداداً. والمجموعـة الشمسية واقعـة على بعد يقرب من ٣٠٠٠٠ سنة ضـوئية من مـركز القـرص (أو الرحى)، وإلى الشمـال قليلاً من مستوى استوائه. وهذا القرص يـدور بسرعـة قد تبلغ ٢٥٠ كيلو متـراً في الثانية، وله من جهة أخرى ذراعان حلزونيتـان هائلتـان. إن منظره سيكـون رائعاً لو أننـا استطعنـا رؤيته من الخـارج. إن هذه المجمـوعة تـدعى عادة في أيامنا هذه **المجرة**، أو منعاً لكل التباس «مجرتنا».

والشيء الثاني، هو أيضاً ذو أهمية كوسمولوجية، ولكنه أقل لفتاً للانتبـاه من درب اللبـانة. ففي كـوكبة المـرأة المسلسلة Andromède بقعة ضبـابيـة، يصعب إلى حد ما تحديدها، ولكنها ترى واضحة في ليلٍ صافٍ فيما لو عرفنا أن نبحث عنها. لقد ورد ذكرها كتابة لأول مرة في «كتاب النجوم الثابتة»، وهو مصنف جمعه الفلكي الفارسي الأصل عبد الرحمن الصوفي في عـام ٩٦٤ م. لقـد وصفه بقـوله إنـه يبدو مثـل غيمة صغيـرة. ولكن بعد اختـراع التلسكـوب

اكتشف عدد متزايد من الأشياء الممتدة من هذا النوع. إذ كان الفلكيون في القرنين السابع عشر والثامن عشر يجدونها بعدساتهم عندما كانوا يبحثون عن أشياء كانت تبدو لهم هامة فعلاً، وهي المذنبات. وهكذا نشر شارل ميسييه Charles Messier عام ١٧٨١ مصنفاً شهيراً عنوانه «السدم وأكوام النجوم»، وذلك كي يضع تحت تصرف الفلكيين لائحة مناسبة بالأشياء التي لا ضرورة للنظر إليها عند تصيد المذنبات. ولا يزال الفلكيون يستخدمون ترقيم ميسييه للدلالة على الأشياء المئة وثلاثة التي أوردها في مصنفه. من ذلك أن سديم المرأة المسلسلة سمي M31، وسديم السرطان M1. وهكذا. . .

لقد كان واضحاً في عصر ميسييه أن هذه الأشياء الممتدة لم تكن كلها من طبيعة واحدة. فبعضها كان بوضوح أكوام النجوم كالثريا (M45). والأخرى كانت غيوماً غير منتظمة من الغاز المتوهج، وملونة غالباً، ومقترنة مع نجم أو أكثر، كالسديم المارد في كوكبه أوريون (M42). ومن المعروف اليوم أن هذين النوعين من الأشياء، ينتميان إلى مجرتنا، ولسنا بحاجة لأن نهتم بهما في هذا الكتاب. ومع ذلك فإن ثلث الأشياء المذكورة في تصنيف ميسييه هي سدم بيضاء ذات شكل إهليلجي منتظم إلى حد ما. ومنها سديم المرأة المسلسلة (M31)، وهو الأكثر أهمية وظهوراً. وبعد تحسين نوعية التلسكوبات أمكن اكتشاف آلاف أخرى من هذه الأشياء. ولدى اقتراب نهاية القرن التاسع عشر، نجح الفليكون في تمييز أذرع حلزونية في بعض منها. من ذلك M31 و M33. ولكن أحسن التلسكوبات في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر لم يكن لها قدرة فصل كافية لكي تُمَيِّز فيها النجوم، وهكذا ظلت طبيعتها غير مؤكدة.

ويبدو أن الفيلسوف عمانويل كانت Emmanuel Kant، كان أول من اقترح فرضية مفادها أن بعض السدم هي مجرات مشابهة لمجرتنا. فعند عودته إلى نظرية رايت حول درب اللبانة، اقترح في عام ١٧٥٥، في كتابه **التاريخ الطبيعي الكوني ونظرية السماوات**، أن السدم «أو على الأصح فئة منها» هي في الحقيقة أقراص دائرية ذات قدر وشكل مشابهين لمجرتنا. إنها تبدو

إهليلجية لأن معظمها يرى بالنسبة لنا في وضع مائل، وإذا كان تألقها ضعيفاً فذلك طبعاً لأنها بعيدة جداً.

وقد انتشرت فكرة كون تعمره المجرات المشابهة لمجرتنا انتشاراً واسعاً، ولكن دون أن تحظى مع ذلك بالإجماع في بداية القرن التاسع عشر. وظلت إمكانية أن هذه السدم الإهليلجية والحلزونية تظهر على شكل سحب بسيطة عائدة لمجرتنا (مثلها مثل الأشياء الأخرى من تصنيف ميسييه)، هي الإمكانية المرجحة. وكان مما شوش الأفكار، مشاهدة نجوم تتفجر في بعض السدم الحلزونية. فإذا كانت هذه السدم حقاً مجرات مستقلة عن مجرتنا، وأبعد مما نستطيع معه أن نميز فيها نجوماً متفرقة، فإن هذه الإنفجارات عندئذ لا بد أن تكون ذات قوة خارقة، بل وخارقة إلى حد أنها ظهرت بهذا البريق من هذه المسافة، ولا يسعني في هذا المجال أن أقاوم متعة إيراد مثال من النثر العلمي من القرن التاسع عشر بكل ما فيه من تفخيم. لقد لاحظ مؤرخ الفلك الإنجليزي أ. م. كليرك Agnes Mary Clerke في مقال له عام ١٨٩٣ «أن سديم المرأة المسلسلة المعروف، وحلزون كلاب الصيد الكبير، هما من أبرز تلك السدم التي لها طيف مستمر. والإشعاعات الصادرة عن مثل هذه السدم التي تظهر عامة بمظهر أكوام ممتدة من النجوم، وبشكل متناثر على مسافات شاسعة، هي من النمط نفسه. ومع ذلك، نخاطر مخاطرة جسيمة إن نحن استنتجنا أن هذه السدم هي حقاً مجموعات من الأجسام الشبيهة بالشمس. إن انفجارات النجوم التي حدثت في اثنين من هذه السدم، زادت الشك في أن من الممكن أن نعلق أهمية على مثل هذا الاستنتاج. ذلك لأنه من المؤكد عملياً، أنه مهما كانت هذه السدم بعيدة، فإن نجومها هي كذلك. إذاً لو كانت هذه السدم مكونة من شموس، لكانت النجوم الأوسع منها بما لا يحد، والتي كانت تحجب تقريباً نورها، ذات تألق تتحدى شدته كل تصور، وذلك حسبما برهن السيد بروكتور«Proctor»ونحن نعرف اليوم أن هذه الانفجارات النجمية هي فعلاً «ذات ضخامة تتحدى الخيال». إن هذه النجوم المتفجرة هي السوبرنوفا، بمعنى أنها انفجارات يصبح تألق النجم فيها قريباً من تألق المجرة

بكاملها، ولكنهم في عام ١٨٩٣، كانوا يجهلون هذا الأمر.

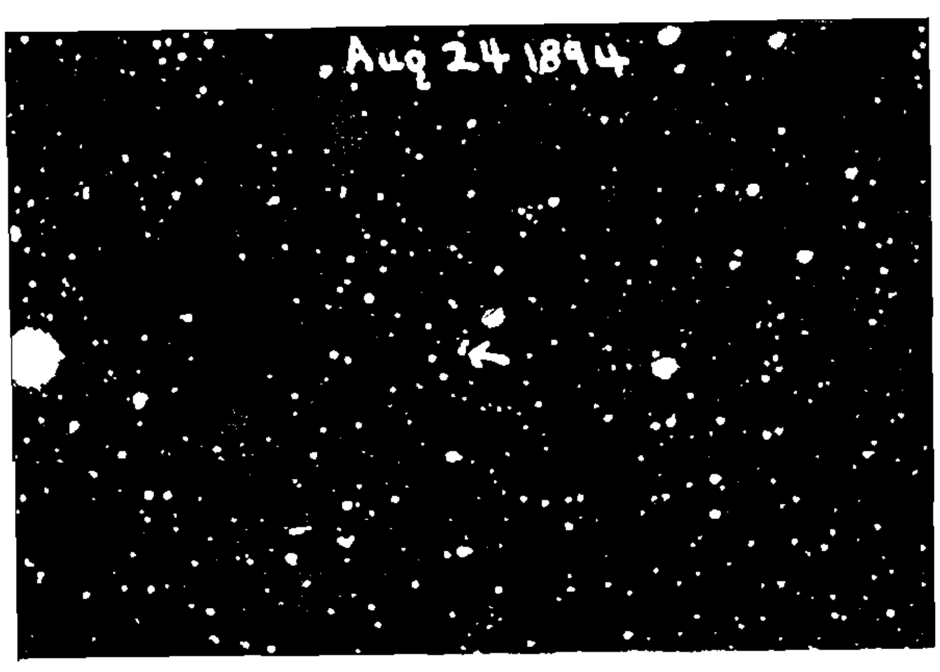
لا يمكننا أن نتعرض لمسألة طبيعة السدم الحلزونية دون أن نتبع نهجاً مضموناً لتحديد أبعادها. وحين أنجز تركيب تلسكوب المئة بوصة عند قمة جبل ويلسون بالقرب من لوس أنجيلوس، أصبح هو الأداة المناسبة في متناولنا. وكان إ. هبل Edwin Hubble أول من توصل في عام ١٩٢٣ إلى تحليل سديم المرأة المسلسلة إلى نجوم متفرقة. وقد اكتشف أن في ذراعيه الحلزونيتين بعض النجوم المتغيرة اللامعة التي تتغير إضاءتها دورياً بالشكل نفسه الذي نجده في صنف من نجوم مجرتنا والمعروف باسم سيفيئيد Cèphéide (نجم متغير). فكان لهذا الاكتشاف أهمية كبيرة، نظراً إلى أن أعمال هـ. س. ليفيت Henrietta Swan Leavitt وهـ. شابلي Harlow Shapley في السنوات العشر السابقة في مرصد جامعة هارفارد، كانت قد بينت أن هناك علاقة بين أدوار النجوم المتغيرة وبين تألقها المطلق. (التألق المطلق هو الاستطاعة الكلية التي يشعها جرم فلكي في سائر الاتجاهات. والتألق الظاهري هو استطاعة الإشعاع الذي نستقبله على كل سنتمتر مربع من مرآة التلسكوب. والتألق الظاهري، لا المطلق، هو الذي يحدد لمعان جرم بالشكل الذي ندركه فيه. ولا يتوقف التألق الظاهري طبعاً على التألق المطلق وحده، بل على المسافة أيضاً. وعلى هذا، إذا عرفنا التألقين: الظاهري والمطلق، لجرم، أمكننا أن نستنتج بعده). فبعد ملاحظة التألق الظاهري للنجوم المتغيرة (مثيلة السيفيئيد) في سديم المرأة المسلسلة، وتقدير تألقها المطلق اعتماداً على دور تغيرها، تمكن هبل من أن يحسب بعدها مباشرة وأن يحسب بالتالي بعد سديم المرأة المسلسلة، وذلك بأن طبق القاعدة البسيطة التي تقول: إن التألق الظاهري متناسب طرداً مع التألق المطلق وعكساً مع مربع المسافة. وقد وجد أن سديم المرأة المسلسلة يقع على بعد ٩٠٠٠٠٠ سنة ضوئية، أي ما يعادل عشرة أمثال المسافة التي تفصلنا عن أبعد نجم معروف في مجرتنا. ومنذ ذلك الحين، أجريت عدة تغييرات وتعديلات على العلاقة بين دور النجوم المتغيرة وبين تألقها، وهذه التعديلات قام بها و. باياد

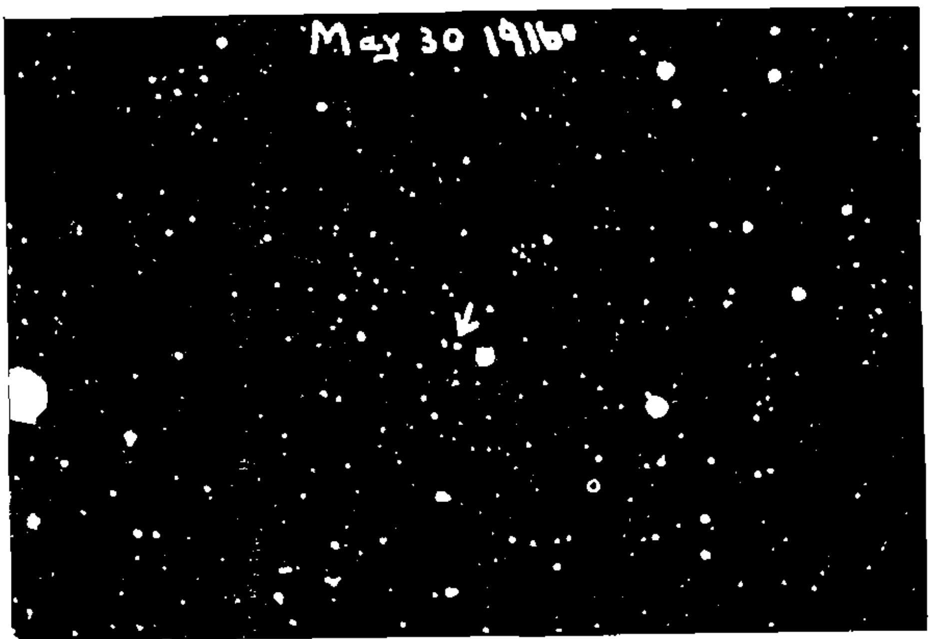
Walter Baade وآخرون، فزادت مسافة السديم حتى بلغت مليوني سنة ضوئية. غير أن مغزى هذه الأبحاث كان واضحاً منذ العام ١٩٢٣: إن سديم المرأة المسلسلة، وكذلك آلاف السدم الأخرى التي من طبيعه، هي مجرات كمجرتنا، وهي تملأ الكون في سائر الاتجاهات وعلى أبعاد كبيرة جداً.

وكان الفلكيون قد استطاعوا، قبل أن يبينوا الطبيعة خارج المجرية للسدم، أن يتعرفوا في هذه السدم على خطوط معروفة في الأطياف الذرية التي كانت مألوفة لديهم. ولكن هذه الخطوط كانت منحرفة في أطياف السدم انحرافاً خفيفاً نحو الأحمر أو نحو الأزرق. فكان في هذه الانحرافات التي سرعان ما عزيت إلى مفعول دوبلر، دلالة على أن السدم تبتعد عن الأرض أو تقترب منها. فقدِّر مثلاً أن سديم المرأة المسلسلة يقترب من الأرض بسرعة ٣٠٠ كم في الثانية، في حين أن كومة مجرات العذراء التي هي أبعد من سديم المرأة المسلسلة، تبتعد عن الأرض بسرعة تقرب من ١٠٠٠ كم في الثانية.

وقد ظنوا في باديء الأمر أنهم أمام سرعات نسبية ناشئة عن حركة مجموعتنا الشمسية، وذلك عند اقترابها من بعض المجرات وابتعادها عن الأخرى. ولكن التمسك بمثل هذا التأويل أصبح مستحيلاً عند اكتشاف عدد متزايد من الانحرافات الطيفية، وكانت كلها نحو الطرف الأحمر من الطيف. فتبين عندئذ أن المجرات الأخرى فيما عدا بعض السدم القريبة كسديم المرأة المسلسلة، تبتعد عامة عن مجرتنا. وهذا لا يعني طبعاً أن مجرتنا تحتل وضعاً مركزياً خاصاً من نوع ما، بل يبدو على الأصح أن الكون ماض في عملية تشبه عملية الانفجار، أي في حركة تبتعد خلالها كل مجرة عن الأخرى.

وقد أصبح هذا التأويل مقبولاً بوجه عام منذ سنة ١٩٢٩، أي عندما أعلن هبل اكتشافه أن انحراف طيف المجرات نحو الأحمر متناسب مع المسافة (أي مع بعدها عن الأرض، أو عن مجرات أخرى). وتأتي أهمية هذا الاكتشاف، من أنه يتفق مع أبسط صورة يمكن أن نتخيلها عن حركة المادة في كون هو في حالة انفجار.

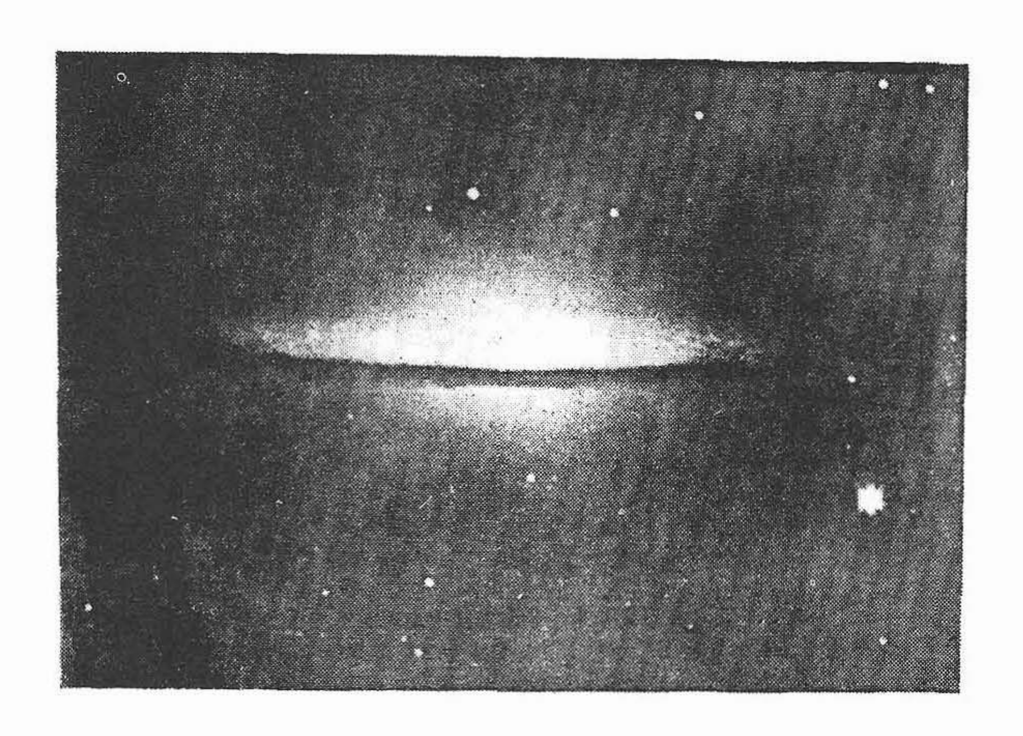




الحركة الخاصة بالنجم بارنار: أشير لوضع النجم بارنار بسهم أبيض على صورتين أخذتا بفاصل زمني قدره ٢٢ سنة. إن تغير وضع النجم بارنار بالنسبة إلى بقية النجوم الأكثر لمعاناً ظاهر مباشرة. ولقد تغير اتجاه هذا النجم في ٢٢ سنة ٣,٧ دقائق قوسية. وعلى هذا فإن «حركته الخاصة هي بمعدل ٠,١٧ دقيقة في العام (تصوير مرصد بيركس).



درب اللبانة عند برج القوس: نرى في هذه الصورة درب اللبانة في اتجاه مركز مجرتنا عند برج القوس. إن تفلطح المجرة يظهر بوضوح. والمناطق المعتمة التي تعترض مستوى درب اللبانة ناشئة عن غيوم الغبار الذي يمتص ضوء النجوم الواقعة خلفه (تصوير مرصد هال).

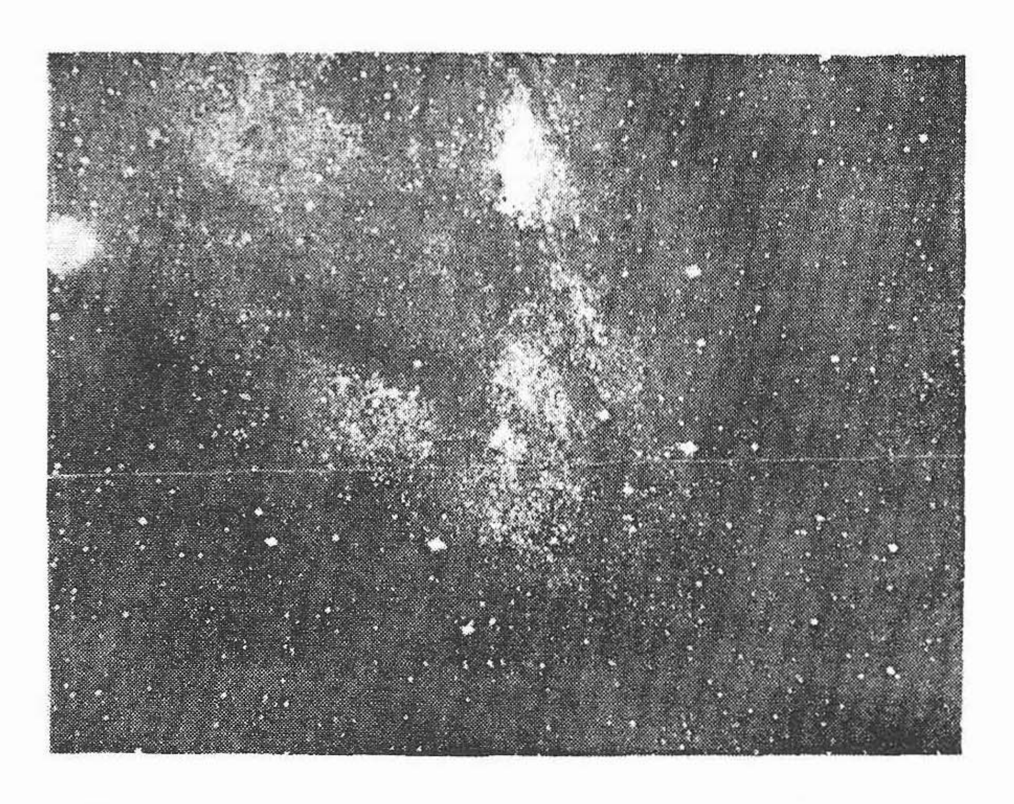


المجـرة الحلزونية M104: هـذا السديم هـو منظومـة جبارة تضم مـا يقرب من ١٠٠ مليار نجم. وهو شبيه بمجرتنا الخاصة، ولكنه يبعد عنا ٦٠ مليون سنة ضـوئية تقـريباً. ومـا نراه في الصورة مأخوذ من حافة هذا السديم تقريباً، الأمـر الذي يتيـح لنا أن نـرى بوضـوح وجود هالة كرويـة براقـة وقرصـاً مفلطحاً. ويقـطع هذا القـرص خط معتم من الغبار ممـاثل للغيوم المظلمة التي رأيناها في مجرتنا في الصورة السابقة.

فعلاً، إننا نتوقع بحدسنـا أن الكـون سيبدو في كـل لحظة وبـالنسبة إلى كـل مـراقب يـرقبـه من مجـرة نـمـوذجيـة، هـو نفسـه في سـائـر الاتجـاهات التي ينظر منها. (في كـل ما يلي سأستخدم الصفـة «نمـوذَجي» للدلالة على مجرة ليست مندفعة بـأية حـركة ذاتيـة خاصـة تميزهـا، وإنما هي تشـارك وحسب في المسيرة الكـونية العـامة للمجـرات). وهذه فـرضيـة تبـدو



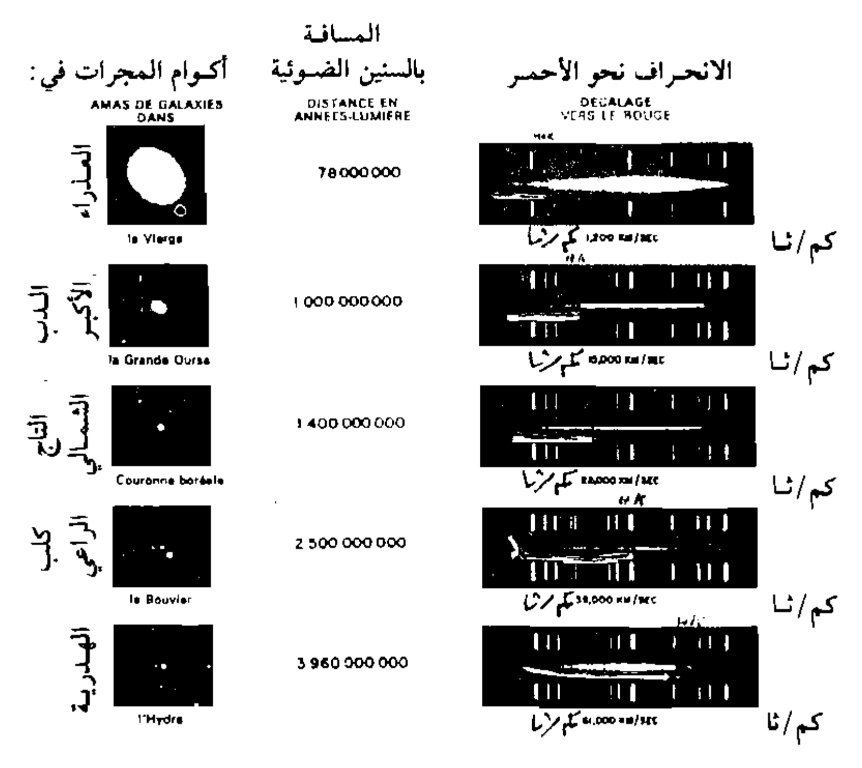
مجرة المرأة المسلسلة الكبيرة M31: إن M31 هي المجرة الكبيرة الأقرب إلى مجرتنا. والبقعتان البراقتان إلى اليمين في الأعلى والأسفل،هما مجرتان أصغر منهاNGC205 ، NGC 221 . إن حقل الثقالة للمجرة M31 يمسك بهما. النقط الأخرى اللامعة التي تبدو في هذه الصورة هي في المستوى الأول، وهي نجوم تنتمي إلى مجرتنا وتوجد بين الأرض وبين M31. لقد أخذت هذه الصورة بتلسكوب ٤٨ بوصة على قمة جبل بالومار (تصوير مراصد هال).



تفاصيل مجرة المرأة المسلسلة: يظهر في هذه الصورة جزء من M31، وهو الجزء الموافق للطرف السفلي الأيسر من الصورة السابقة. ولما كانت هذه الصورة ملتقطة بتلسكوب ١٠٠ بوصة على قمة ويلسون، لذلك فإن قوة الفصل فيها كافية لإظهار النجوم في المجرة فرادى في ذراعي الحلزون M31. ودراسة هبل لهذه الصور في عام ١٩٢٣ هي التي مكنته من الجزم في أن M31 هو مجرة شبيهة بمجرتنا إلى حد ما، وأنها ليست جزءاً من محيط مجرتنا (تصوير مرصد هال).

طبيعية (منذ كوبرنيك على الأقل) حتى أن الفلكي الإنجليزي إ. آ ميلين Edwrard Arthur Milneتوجها تحت اسم المبدأ **الكوسمولوجي**.

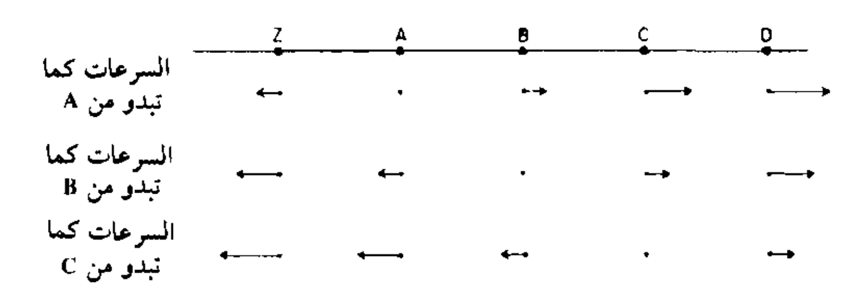
ويقتضي هذا المبدأ، بعد تطبيقه على المجرات، أن راصداً ما من مجرة نموذجية، سيرى مجموعة المجرات الأخرى تنتقل بسرعات لا يتغير



العلاقة بين الانحراف نحو الأحمر وبين المسافة: تمثل هـذه الصورة مجـرات لامعة منتمية إلى خمس أكوام من المجرات اللامعة مع أطيـافها على التـوالي. أطياف المجـرات هي البقع الطويلة البيضاء الأفقية المحاطة إحاطة مشوشة، وتجتازها بعض الخطوط القصيرة القـائمة العمـودية. كـل موضـع على طول هـذه الأطياف يعـود إلى طـول مـوجـة معين من الضوء. الخطوط القائمة العمودية ناجمة عن امتصاص أجواء النجوم العائدة لهذه المجرات للضـوء (الخطوط الـلامعة العمـودية فـوق طيف المجرة وتحتـه هي مجرد أطيـاف نموذجيـة تستخـدم كجملة مقارنـة (تدريج)، وهي توضـع فـوق أطيـاف المجـرات لقيـاس أطـوال المـوجات). السهم المـوازي لطيف كـل مجرة وتحتـه يشير إلى انحـراف خطي امتصـاص خـاصين (الخطان H و K للكـالسيوم) بـالنسبـة إلى وضعهـا الـطبيعي نحـو الـطرف الأيمن (الأحمر) من الطيف. فإذا فسرنا انحراف خطي الامتصاص هذين على أنهما نتيجـة مفعول دوبلر، فـإنهما يشيـران إلى سرعـات محصورة بين ١٢٠٠ كم/ثـا من أجل كـومـة مجـرات العذراء (أو السنبلة) وبين ٦١٠٠٠ كم/ثا من أجل كومـة الهيدريـة. هذه الانحـرافات نحـو الأحمر متناسبـة مع المسـافة، وقـد رتبت المجرات في هـذه اللوحة تبعـاً للترتيب المتـزايد لأبعادها عنا (المسافات المشار إليها هنا حسبت على أسـاس أن ثابت هبـل للتـناسب هـو ١٥،٣كم/ثا ولكل مليون سنة ضوئية). ويؤكد هذا التأويل حقيقة أن المجرات تبدو أقل كبراً ولمعاناً كلما كان انحرافها نحو الأحمر أكبر (تصوير مراصد هال).

توزعها وذلك مهما كانت المجرة التي يرصد منها. وتلك نتيجة رياضية مباشرة لهذا المبدأ، وهي أن السرعة النسبية لمجرتين يجب أن تكون متناسبة مع المسافة التي تفصل بينهما، أي بالضبط على نحو ما اكتشف هبل.

ولكي نتبين معنى هذا القانون، لنأخذ ثلاث مجرات نموذجية C,B,A على استقامة واحدة (شكل١)، ولنفرض أن مسافة A عن B هي نفسها مسافة B عن C. فمهما كانت سرعة Bالملاحظة من A، فإن المبدأ الكوسمولوجي يقتضي أن تكون هي ذاتها سرعة Cبالنسبة إلى B . ولكن C، بعدها عن A ضعفا بعد Bعن A، فهي بالنسبة إلى Aأسرع منها بمرتين. ويمكننا أن نفرض مزيداً من المجرات على الاستقامة ذاتها، ونحصل دائماً على النتيجة نفسها: إن سرعة إبتعاد مجرة بالنسبة إلى أخرى متناسبة مع المسافة الفاصلة بينهما.



شكل ١ ـ التجانس وقانون هبل

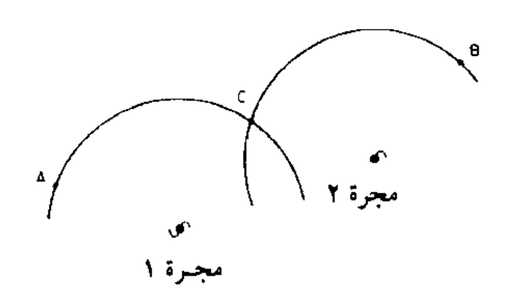
لنأخذ المجرات C,B,A,Z على استقامة واحدة بحيث تكون موزعة على مسافات متساوية. وقد أشرنا إلى سرعاتها بالنسبة إلى A أو Bأو C **بأطوال الأسهم** واتجاهاتها. إن مبدأ التجانس يقتضي أن تكون سرعة C بالنسبة إلى Bهي سرعة Bبالنسبة إلى A. وبجمع هاتين السرعتين نحصل على سرعة C بالنسبة إلى A. وقد أشرنا إليها بسهم أطول بمرتين. كما يلاحظ أن السرعات **تخضع لقانون هبل: سرعة كل مجرة بالنسبة إلى مجرة أخرى هي متناسبة مع المسافة التي تفصل بينهما، بمعنى أن السرعة النسبية بين مجرتين** تتضاعف عندما تتضاعف المسافة بينهما. **وهذا هو التوزيع الوحيد الذي يتمشى مع مبدأ** التجانس.

وكما هو حال البراهين العلمية في أغلب الأحيان، فإنه يمكن استخدام هذه الحجة في الاتجاهين. فحين لاحظ هبل علاقة تناسب بين أبعاد المجرات بعضها عن بعض وبين سرعات تقهقرها النسبية، تحقق بطريقة غير مباشرة من صحة المبدأ الكوسمولوجي. وهذا أمر مرضٍ جداً من وجهة نظر فلسفية: إذ ما الذي يجعل قسماً من الكون أو اتجاهاً فيه مختلفاً عن الآخر؟ وهذا يؤكد كذلك أن الفلكيين يلاحظون جزءاً كبيراً من الكون، وليس مجرد إعصار محلي وحسب في دوامة كونية لا حدود لاتساعها. وعلى العكس، نستطيع أن نسلم مسبقاً بالمبدأ الكوني ثم نستنتج منه علاقة التناسب بين السرعات والأبعاد، أي على نحو ما فعلنا في الفقرة السابقة. وبهذه الطريقة نستطيع أن نقدر كم تبعد عنا الأجرام النائية جداً انطلاقاً من سرعاتها التي تقدَّر اعتماداً على انحرافات دوبلر. وهذه عملية يسهل نسبياً إجراؤها.

وللمبدأ الكوني دعم تجريبي آخر غير ملاحظة انحراف دوبلر، فإذا أخذنا بعين الاعتبار الانحرافات التي تعزى إلى مجرتنا الخاصة وإلى كومة المجرات الغنية المجاورة في كومة العذراء، فإن الكون يبدو متماثل المناحي بشكل ملحوظ، بمعنى أن له مظهراً واحداً في كافة الاتجاهات (إن خلفية الإشعاع المليمتري التي ستكون موضوع الفصل القادم، تبرهن على ذلك بنحو أكثر اقناعاً حتى من هذا). ولكننا تعلمنا منذ أيام كوبرنيك أن نتجنب كل منهج يعزو للجنس البشري وضعاً من الأوضاع المتميزة في الكون. وعلى هذا، إذا كان الكون متماثل المناحي حولنا، فإنه يجب أن يكون كذلك حول كل مجرة نموذجية. ولكن، من جهة اخرى، كل نقطة من الكون يمكن نقلها إلى أية نقطة أخرى بسلسلة من الدورانات حول مراكز ثابتة (شكل ٢). وعليه، إذا كان الكون متماثل المناحي في جوار كل نقطة منه، فلا بد كذلك أن يكون متجانساً.

وقبل أن نمضي بعيداً، علينا أن نوضح بعض الأمور بالنسبة إلى المبدأ الكوسمولوجي. إن هذا المبدأ أولاً، لاينطبق على المسافات والسرع الصغيرة فنحن في مجرة تنتمي إلى فئة موضعية تحتوي على مجرات أخرى (منها M31 و M33)، وهذه الفئة نفسها موجودة في جوار كومة العذراء الهائلة. والحقيقة، إن من بين المجرات الثلاث والثلاثين المشار إليها في مصنف ميسييه، هناك ما يقرب من نصفها متركز حول جزء صغير جداً من السماء، هو كوكبة العذراء! وإذا صح المبدأ الكوسمولوجي فإنه لا يلعب أي

دور كان إلا عندما نلاحظ الكون على صعيد المسافات التي تفصل بين أكوام المجرات على الأقل، أي على سوية ١٠٠ مليون سنة ضوئية فما فوق.



شكل ٢ - تماثل المناحي والتجانس

إذا كان الكون متماثل المناحي في جوار المجرة ١ كما هو حاله في جوار المجرة ٢، فإنه كذلك متجانس. ولكي نبرهن أن الظروف هي ذاتها في نقطتين A وB اخترناهما لا على التعيين، نرسم دائرة مركزها ١ وتمر بـ A، ودائرة أخرى مركزها ٢ وتمر بـ B. إن تماثل المناحي في جوار ١ يقتضي أن تكون الظروف هي ذاتها في النقطتين A و C (حيث C هي نقطة تقاطع الدائرتين). وبالطريقة نفسها: إن تماثل المناحي في جوار المجرة ٢ يقتضي أن تكون الظروف هي ذاتها في B وفي C. وعلى هذا، فإن الظروف هي ذاتها في A وفي B.

وهناك أمر آخر يجب توضيحه: فعند تطبيقنا للمبدأ الكوسولوجي لاستنتاج علاقة التناسب بين السرعات وبين المسافات، افترضنا أنه إذا كانت سرعة C بالنسبة إلى B تساوي سرعة B بالنسبة إلى A، فإن سرعة C بالنسبة إلى A هي ضعفا هذه السرعة. فنحن بذلك لم نطبق سوى قاعدة مألوفة يعرفها كل منا، وتتلائم تماماً مع السرعات الصغيرة نسبياً في حياتنا العادية. إلا أن هذه القاعدة لا يمكن أن تطبق على السرعات التي يمكن مقارنتها مع سرعة الضوء (٣٠٠ ٠٠٠ كم/ في الثانية). ولو لم يكن الأمر كذلك، أي لو طبقت على هذه السرعات الكبيرة، لوصلنا بعد جمع عدد كاف من السرعات

النسبية إلى سرعة كلية أكبر من سرعة الضوء، وهذا ما تأباه نظرية أينشتين في النسبية. من ذلك مثلاً، إذا أطلق أحد ركاب طائرة تسير بسرعة تبلغ ثلاثة أرباع سرعة الضوء، رصاصة نحو الأمام بهذه السرعة ذاتها، فإن سرعة الرصاصة بالنسبة إلى الأرض يجب أن تكون، بحسب القاعدة المألوفة في جميع السرعات، مساوية مرة ونصف من سرعة الضوء. والحال، أن هذا مستحيل. إن نظرية النسبية الخاصة تتجنب هذه الصعوبة، إذ عدلت قاعدة جمع السرعات، وسرعة C بالنسبة إلى A هي في الحقيقة أقل قليلاً من مجموع السرعتين النسبيتين لـA بالنسبة إلى B، ولـB بالنسبة إلى C. وهكذا فإنه مهما يكن عدد المرات التي تجمع فيها سرعات أصغر من سرعة الضوء، فإننا لن نحصل أبداً على سرعة أكبر منها.

كل ذلك لم يورط هبل في أي صعوبة عام ١٩٢٩. لأن كل المجرات التي درسها لم يكن لواحدة منها سرعة يمكن مقارنتها مع سرعة الضوء. ولكن عندما يفكر الكوسمولوجيون بالمسافات الحقيقية المميزة للكون مأخوذاً بمجموعه، فإنهم عندئذ بحاجة إلى إطار نظري قادر على معالجة السرعات القريبة من سرعة الضوء، وهذا الإطار هو نظريتا أينشتين في النسبية الخاصة والعامة. والحقيقة أن مفهوم المسافة على مثل هذا المستوى من الاتساع يصبح مبهماً ملتبساً، وعلينا أن نحدد، هل يتعلق الأمر بمسافات قيست بملاحظة التألق والأقطار والحركات الخاصة أم بشيء آخر أيضاً.

لنعد الآن إلى العام ١٩٢٩. لقد قدر هبل المسافة لثماني عشرة مجرة اعتماداً على التألق الظاهري لأكثر نجومها لمعاناً، ووازن بين هذه المسافات وبين السرعات الموافقة لهذه المجرات، إذ عين هذه السرعات بالمطياف عن طريق انحرافات دوبلر. وقد استنتج أن هناك علاقة، تقريباً خطية، (وخطية تعني ببساطة التناسب) بين هذه السرعات وبين هذه المسافات. والحقيقة، إن فحص المعطيات التجريبية التي كانت في حوزة هبل تجعلني في حيرة حول الطريقة التي استطاع بها أن يتوصل إلى هذا الاستنتاج، إذ يبدو أن ليس ثمة ارتباط بين المسافات وبين السرعات المجرية، هذا فيما عدا ميل خفيف إلى

تزايد السرعات مع المسافات. في حقيقة الأمر، يجب ألا نتوقع علاقة تامة التناسب بين المسافات وبين السرعات من أجل ثماني عشرة مجرة. إن هذه المجرات قريبة جداً منا، إذ لا يبعد كل منها أكثر من كومة العذراء. ويصعب علينا ألا نخلص من ذلك إلى أن هبل كان قد عرف الجواب الذي كان يريده، باعتماده على الحجج البسيطة التي سقناها أعلاه، أو على التفصيلات النظرية التي ترتبط بها والتي ستكون موضوعنا فيما بعد.

ومهما يكن من أمر، فإن الأسس التجريبية لهذه النظرية، أصبحت، حوالي العام ١٩٣١، أكثر قوة ومتانة، وكان هبل في وضع يمكنه من تحقق التناسب بين السرعة وبين المسافة من أجل مجرات تبلغ سرعتها ٢٠٠٠٠كم/ الثانية. إذ نظراً لتقدير المسافات، الذي أجري في تلك الفترة، أمكن استنتاج أن السرعات تزيد ١٧٠كم/ الثانية من أجل كل مليون سنة ضوئية، وهكذا فإن سرعة ٢٠٠٠٠كم/ ثانية تشير إلى مسافة ١٢٠ مليون سنة ضوئية. إن هذا الرقم ـ ونعني به زيادة معينة في السرعة من أجل مسافة معينة ـ يدعى عامة «ثابت هبل» (ثابت التناسب). (قولنا ثابت هنا يعني أن النسبة بين السرعة وبين المسافة هي واحدة من أجل جميع المجرات في لحظة معينة. ولكن ثابت هبل، كما سنرى، يتغير مع الزمن طالما أن الكون في تطور وحركة واتساع).

وحوالي العام ١٩٣٦، استطاع هبل، بالتعاون مع م. هوماسون Milton Humason المختص بشؤون الطيف، أن يقيس سرعة كومة مجرات الدب الأكبر وبعدها. وقد إكتشفا أنها تبتعد بسرعة ٤٢٠٠٠ كليو متر في الثانية، أي ١٤٪ من سرعة الضوء. ولما كان بعدها الذي قدر بـ ٢٦٠ مليون سنة ضوئية، هو حدود استطاعة الاستقصاء لتلسكوب جبل ويلسون، لذلك أوقف هبل أعماله. وعند ظهور تلسكوبات أقوى بعد الحرب عند قمة بالومار وقمة هاميلتون، إستأنف فلكيون آخرون (بخاصة ألان ساندادج Allan Sandage في قمة بالومار وقمة ويلسون) برنامج هبل، واستمر العمل حتى هذه الساعة.

لقد خلص الفلكيون عامة بعد نصف قرن من الرصد، إلى أن المجرات تبتعد عنا بسرعات متناسبة مع أبعادها (على الأقل من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء). ولا شك أن هذا لا يعني أننا نحتل وضعاً خاصاً في الكون كما سبق وأشرنا في أثناء مناقشتنا للمبدأ الكوسمولوجي، فكل زوج من المجرات يندفع بحركة الهروب هذه التي سرعتها متناسبة مع المسافة الفاصلة بينهما. وأهم تعديل أجري على نتائج هبل نفسها، هو ذلك المتعلق بدرجة المسافات التي تفصلنا عن المجرات البعيدة عن مجرتنا، وكان جزء من هذا التعديل، راجع إلى إعادة معايرة العلاقة بين الدور وبين التألق، للنجوم المتغيرة (سيفيئيد) في ليفيت شابلي، وهذه المعايرة أجراها والتر باياد Walter Baade وآخرون. وقد قدّروا أبعاد المجرات البعيدة بعشرة أمثال ما قدره هبل، وهكذا يعتقد حالياً أن ثابت هبَل هو حوالي ١٥ كيلو متراً في الثانية لكل ميلون سنة ضوئية ليس إلا.

ترى، ما المعلومات التي يمكن أن نستخلصها من كل ذلك حول أصل الكون ونشأته؟ إذا كانت المجرات تبتعد إحداها عن الأخرى، فلا بد أنه مرت لحظة كانت فيها هذه المجرات أكثر تقارباً. أو بشكل أوضح وأدق، إذا كانت سرعات هذه المجرات ثابتة دائماً، فإن الزمن اللازم لكل زوج منها كي يبلغ المسافة التي تفصل بينهما حالياً، يساوي ناتج قسمة هذه المسافة على سرعتهما النسبية. ولكن في حالة سرعة نسبية متناسبة مع المسافة[1]، فإن هذا الزمن هو نفسه بالنسبة إلى كل زوج من المجرات ـ فلا بد أنها كانت جميعاً (ملمومة) في لحظة من لحظات الماضي! فإذا أخذنا ثابت هبل ١٥ كم/ ثانية لكل مليون سنة ضوئية، فإن الزمن الذي انقضى منذ بدأت المجرات في الحركة، يجب أن يساوي ناتج قسمة مليون سنة ضوئية على ١٥ كيلو متراً في الثانية، أي ٢٠ مليار سنة. سندعو «عمر الكون» الذي حسب على هذا النحو

---

(١) ونسبة المسافة إلى السرعة، أي الزمن، ثابتة بالتالي بالنسبة إلى كل زوج من المجرات.
المترجم

«المدة المميزة للتوسع»، وهو بكل بساطة مقلوب ثابت هبل. والحقيقة أن عمر الكون الحقيقي أقل من المدة المميزة للتوسع، لأن المجرات ـ وهذا ما سنراه ـ لم يكن لها دائماً السرعة ذاتها، بل إن حركتها تباطأت تحت تأثير تجاذبها الثقالي المتبادل. وعلى هذا، إذا كانت قيمة ثابت هبل هي بالضبط (١٥) كيلومتراً في الثانية لكل مليون سنة ضوئية، فإن عمر الكون يجب أن يكون أقل من ٢٠ مليار سنة.

وفي بعض الأحيان نلخص ذلك كله بقولنا إن قدْر الكون يتزايد، ولكن يجب أن لا نفهم من ذلك أن قدر الكون محدود بالضرورة، على الرغم من أن هذه الإمكانية واردة ومستساغة. ونحن نستعمل هذا التعبير للدلالة على أن المسافات الفاصلة بين جرمي كل زوج من أزواج المجرات، في أثناء فترة زمنية معينة، تزيد بالنسبة ذاتها. وفي فترة زمنية قصرها كاف لأن تظل سرع المجرات ثابتة تقريباً، سيكون تزايد المسافة الفاصلة بين مجرتين نموذجيتين مساوياً لجداء سرعتهما النسبية في طول هذه الفترة، أو إذا طبقنا قانون هبل، فإن تزايد المسافة يساوي جداء ثابت هبل في المسافة وفي الزمن. ولكن نسبة تزايد المسافة إلى المسافة ذاتها ستكون بهذا الشكل مساوية لجداء ثابت هبل في الزمن المنقضي، وهذا الجداء يظل هو ذاته من أجل كل أزواج المجرات. فمثلاً، في فترة زمنية تساوي ١٪ من المدة المميزة للتوسع (أي مقلوب ثابت هبل) ستزيد المسافة الفاصلة بين مجرتين نموذجيتين لا على التعيين بنسبة ١٪ من قيمتها. وعندئذ سنقول تجاوزاً إن قدر الكون قد ازداد ١٪.

لا أود أن أعطي انطباعاً بأن هذا التأويل لانزياح الطيف نحو الأحمر يلقى الإجماع. فنحن لا نرى المجرات فعلاً وهي تبتعد عنا. والشيء الوحيد الذي نحن على يقين منه هو أن خطوط أطيافها منحرفة نحو الأحمر، أي نحو أطول الموجات الأكبر. وهناك فليكون بارزون يشكّون في أن لهذا الانحراف، مهما كان أمره، صلة مع مفعول دوبلر أو مع توسع الكون. فهالتون آرب Hal-ton Arp من مرصد هال، أشار إلى وجود تجمعات مجرّية في السماء، تظهر

فيها بعض المجرات انحرافات طيفية مختلفة جداً بعضها عن بعض. فإذا كانت هذه التجمعات ناشئة عن تجمهرات مادية فعلية للمجرات، فإنه يصعب أن يكون لها سرعات مختلفة جداً. كما اكتشف م. شميدت Maarten Shmidt من جهة أخرى، عام ١٩٦٣، أن بعضاً من أصناف الأجرام لها مظهر النجوم، إلا أنها تظهر انحرافاً طيفياً هائلاً نحو الأحمر قد يبلغ ٣٠٠٪! فإذا كانت هذه الأجرام «شبه النجمية» بعيدة إلى هذا الحد الذي يشير إليه انحرافها، فلا بد أنها تشع طاقة خارقة حتى بدت لنا بهذا اللمعان. ثم إن العلاقة بين السرعة وبين المسافة يصعب تعيينها من أجل الأجرام البعيدة جداً.(١)

إلا أنه توجد طريقة أخرى (مستقلة عن تلك التي عرضناها) لتبيان حقيقة هروب المجرات الذي يشير إليه الانحراف نحو الأحمر. فكما رأينا، إن هذا التأويل للانحرافات، يتطلب أن يكون توسع الكون قد بدأ منذ أقل من ٢٠ مليار سنة بقليل. وهذا التقدير سيلقى الدعم والتأكيد إذا استطعنا إيجاد دليل آخر مهما كان أمره على أن هذه المدة تتفق فعلاً مع عمر الكون. والحقيقة، أننا نجد عدداً لايستهان به من الأدلة على أن عمر مجرتنا يتراوح بين ١٥ و ٢٠ مليار سنة. وهذا التقدير يعتمد في الوقت نفسه على قياس الوفرة النسبية لمختلف النظائر المشعة الموجودة في أرضنا (ولا سيما النظيران U235 و U238 للأورانيوم)، وعلى معرفتنا عن تطور النجوم. ولا ريب في أنه لا توجد رابطة بين نسب النشاط الإشعاعي أو تطور النجوم من جهة، وبين الانحرافات نحو الأحمر من جهة أخرى، فلنا أن نعتقد دونما حرج بأن عمر الكون المحسوب انطلاقاً من ثابت هبل يتفق مع بداية حقيقية للكون.

---

(١) واليوم يزداد التشكيك في أن هذا الانزياح نحو الأحمر هو دليل على هروب المجرات، ويرجعون هذا الانحراف أو جزءاً منه إلى ترابط الأمواج الضوئية، أي التي تنتشر أمواجها متفقة في الطور (إ. ولف Emil Wolf). كما أن هناك أدلة متزايدة على عدم تجانس الكون، حتى في الأبعاد الكبيرة جداً، وليس على المجال الضيق. ومهما يكن من أمر، فإن النظريات الكونية تظل أكثر من غيرها عرضة للتغيير (راجع مجلة العلوم العدد ٣ ـ ١٩٨٨ ص ٣٦ ـ ٣٧).

ويهمنا بهذه المناسبة، من الناحية التاريخية، أن نذكر أن تقدير ثابت هبل في الثلاثينات والأربعينات ـ ١٧٠كم/الثانية لكل مليون سنة ضوئية ـ كان أكبر مما يقدر حالياً، فإذا اتبعنا طريقة الحساب السابقة نفسها، فإن عمر الكون سيكون عندئذ مساوياً ناتج قسمة مليون سنة ضوئية على ١٧٠ كم/ ثا، أي حوالي ٢ مليار سنة، لا بل إنه سيكون أقل من ذلك إذا أخذنا بعين الاعتبار كبح الجاذبية. ولكننا نعرف جيداً، منذ أعمال اللورد رذرفورد حول النشاط الإشعاعي، أن الأرض أقدم من ذلك، إذ يقدر عمرها حالياً بما يقرب من ٤،٦ مليار سنة. ولما كان من الصعب التصديق بأن الأرض أقدم من الكون، لذلك خلص الفلكيون (في ذلك الوقت) إلى الشك في أن الانحراف نحو الأحمر، مهما كان شأنه، يمكن أن يفيدنا بشيء عن عمر الكون. وقد ولد من هذه المفارقة الظاهرية، بعض من أبرع التصورات الكوسمولوجية في الثلاثينات والأربعينات، وربما كان النموذج الاستقراري Steady state من بينها. ومن الجائز أن حل هذه المفارقة بعد ضرب مقادير المسافات بين المجرات النائية جداً في عشرة، كان هو الشرط االمسبق الأساسي لدعم موقف نظرية الانفجار العظيم، واعتبارها نظرية قياسية.

إن صورة الكون كما عرضناها حتى الآن هي صورة حشد من المجرات في حالة توسع. ولا يلعب الضوء بالنسبة إلينا في هذه الصورة سوى دور «الرسول النجومي»، إذ ينقل إلينا المعلومات المتعلقة بأبعاد المجرات وسرعاتها. إلا أن الظروف في البدء كانت مختلفة جداً. وهذا ما سنراه. فالضوء كان آنذاك هو المُكوِّن الأساسي للكون، أما المادة العادية فلم تكن سوى شوائب يمكن إهمالها.

تخيلوا موجة ضوئية تنتشر بين مجرتين نموذجيتين. إن المسافة التي تفصل بينهما تساوي جداء الزمن الذي تقتضيه الموجة الضوئية كي تنتشر من إحداهما إلى الأخرى في سرعة انتشارها، في حين أن تزايد هذه المسافة في اثناء رحلة الضوء يساوي جداء مدة الرحلة في السرعة النسبية للمجرتين. ولكي نحسب التزايد النسبي للمسافة، نقسم تزايد المسافة على المسافة

نفسها، فنجد أن مدة الرحلة تختصر في هذه العملية. فالتزايد النسبي للمسافة بين مجرتين (وبالتالي بين مجرتين نموذجيتين لا على التعيين) في أثناء رحلة الضوء، يساوي نسبة سرعتهما النسبية إلى سرعة الضوء. ونحن هذه النسبة نفسها كما رأينا تعطينا كذلك التزايد النسبي لطول موجة الضوء في أثناء رحلته. والخلاصة: يتزايد طول موجة كل شعاع ضوئي تزايداً بسيطاً (أي خطياً) كما تتزايد المسافة الفاصلة بين المجرات النموذجية خلال توسع الكون[1]. ويمكن أن نتخيل أن الأمواج الضوئية «تمتط» أكثر فأكثر بفعل توسع الكون. وعلى الرغم من أن هذا التفكير لا يصلح إلا لمسيرات الضوء ذات المدة القصيرة، فإننا نستطيع تعميمه عند جمع مسيرات متتابعة (مددها قصيرة). مثال ذلك، أننا عندما ننظر إلى المجرة 3C295، ونجد أن أطوال الموجات في طيفها أكبر من أطوال الموجات التي تشير إليها اللوائح القياسية لأطوال الموجات الطيفية بنسبة ٤٦٪، نستطيع أن نستنتج أنه عندما أرسل الضوء الذي نتلقاه كان الكون أصغر مما هو حالياً بنسبة ٤٦٪.

حتى الآن، لم نهتم إلا بما يدعوه الفيزيائيون «علم الحركة»، إذ لم يشغلنا إلا وصف الحركات بغض النظر عن القوى التي تتحكم فيها. ولكن الفيزيائيين والفلكيين حاولوا طوال قرون أن يفهموا كذلك ديناميك (تحريك) الكون. طبعاً، لقد قادهم ذلك إلى دراسة الدور الكوسمولوجي للقوة الوحيدة التي تعمل عملها بين الأجسام السماوية، وهي قوة الثقالة.

وكما قد تتوقعون، كان نيوتن هو أول من تصدى لهذه المسألة. ففي الرسائل التي تبادلها مع عالم الإنسانيات Richard Bentley في كمبرج، قبل نيوتن بأنه إذا كانت مادة الكون موزعة بالتساوي في منطقة محدودة، فإنها ستميل عندئذ إلى السقوط نحو المركز. «وهناك ستشكل كتلة كروية كبيرة لا

---

(١) أو بعبارة أخرى: نسبة تزايد طول الموجة إلى طولها الأساسي تساوي نسبة تزايد المسافة (بين المجرتين) إلى المسافة نفسها. راجع التذييل الرياضي الملحق رقم ١.

المترجم

غير». أما على العكس، إذا كانت المادة موزعة بالتساوي في أرجاء كون لا متناه، فإنه لن يوجد عندئذ مركز يمكن أن تسقط نحوه، بل يمكنها أن تتكثف في عدد غير منته من التراكمات المشتتة في أرجاء الكون. وقد رأى نيوتن أن بامكاننا أيضاً أن نجد بهذا الشكل أصل الشمس والنجوم.

إن صعوبة المشاكل التي طرحها ديناميك الوسط اللامتناهي، منعت أو كادت، كل تقدم جديد في ميدان الكوسمولوجية. وظل الأمر كذلك إلى أن ظهرت نظرية النسبية العامة. ولا مجال هنا لشرح هذه النظرية، هذا عدا أنه تأكد أنها أقل أهمية بالنسبة إلى الكوسمولوجية مما ظن في بادىء الأمر. ويكفي أن نقول إن ألبرت أينشتين قد استخدم الهندسة اللاإقليدية (التي كانت موجودة من قبل)، ليخلص إلى اعتبار الثقالة هي نتيجة لانحناء الزمان والمكان. وفي عام ١٩١٧، أي بعد إنجاز نظريته بعام واحد، حاول أينشتين أن يجد حلاً لمعادلته التي كانت تصف الفضاء المكاني الزماني للكون بمجموعه. وتمشياً مع الأفكار السائدة في عصره، فقد حاول بوجه خاص إيجاد حل متجانس ومتماثل المناحي، بل، وبكل أسف، استقراري. ولكن حلاً كهذا لا يمكن أن يوجد. فلكي ينشىء حلاً متفقاً مع هذه الفرضيات الكوسمولوجية، اضطر أينشتين إلى إفساد معادلاته، وذلك بأن أدخل فيها حداً قال إنه «ثابت كوني»، فأساء بذلك إساءة ملحوظة إلى رشاقة النظرية في وضعها الأول. ولكنه توصل إلى موازنة قوى جاذبية التثاقل على المسافات البعيدة.

وقد كان نموذج أينشتين للكون استقرارياً حقاً ولا يتنبأ بأي انحراف نحو الأحمر. وفي العام نفسه، ١٩١٧، وجد الفلكي الهولاندي و. دي سيتر De Sitter حلاً آخر لنظرية أينشتين المعدلة. وهذا الحل، على الرغم من أنه استقراري ويتمشى بالتالي مع الأفكار الكوسمولوجية للعصر، إلا أن له خاصة ذات شأن، وهي أنه يتنبأ بانحراف نحو الأحمر متناسب مع المسافة. وكان وجود مثل هذه الانحرافات الهامة بالنسبة إلى السدم، مجهولاً عندئذ من الفلكيين الأوروبيين. إلا أن أنباء مشاهدة انحرافات كبيرة نحو الأحمر وصلت

من أميركا في نهاية الحرب العالمية الأولى إلى أوروبة، وسرعان ما نال نموذج دي سيتر الشهرة. من ذلك، أنه عندما وضع الفلكي الإنجليزي آرثر إدنجتون عام ١٩٢٢ أول بحث شامل عن النسبية العامة، حلل معطيات الرصد الموجودة في ذلك الحين حول هذه الانحرافات في إطار نموذج دي سيتر. وقد أشار هبل نفسه إلى أن هذا النموذج قد جذب انتباه الفلكيين إلى أهمية ارتباط الانحراف نحو الأحمر بالنسبة إلى المسافة. وربما كان هذا النموذج هو مصدر الإلهام له عندما اكتشف عام ١٩٢٩ علاقة التناسب بين الانحراف نحو الأحمر وبين المسافة.

في أيامنا هذه، تبدو هذه الأهمية التي علقت على نموذج دي سيتر لا مسوغ لها. فمن جهة، ليس هذا على الإطلاق نموذجاً استقرارياً حقاً ـ إنه يبدو كذلك بسبب الطريقة الخاصة التي أدخلت بها الإحداثات الفضائية، ولكن المسافة الفاصلة بين راصدين نموذجيين تزداد في الحقيقة مع الزمن، وهذا الهروب العام هو الذي أوجد الانحراف نحو الأحمر. ومن جهة أخرى، إن هذه الأهمية آتية وحسب من أن هذا النموذج يراعي المبدأ الكوني من حيث أن الهروب وجد متناسباً مع المسافة، إذ رأينا فعلاً أن السرعة النسبية يجب أن تكون متناسبة مع المسافة في كل نظرية تحقق هذا المبدأ.

ومهما يكن من أمر، فإن اكتشاف هروب المجرات البعيدة، لم يلبث أن أثار الاهتمام حول النماذج الكوسمولوجية المتجانسة والمتماثلة المناحي، ولكن ليس الاستقرارية. ولم تعد ثمة حاجة لـ «ثابت كوني» في معادلات حقل الثقالة. كما أن أينشتين نفسه، أبدى أسفه إلى أنه أدخل مثل هذا التعديل في معادلته الأولى. وفي عام ١٩٢٢، وجد الرياضي الروسي الكسندر فريدمان حلاً عاماً متجانساً ومتماثل المناحي لمعادلات أينشتين الأصلية. ونموذج فريدمان هذا، المبني على معادلات أينشتين الأولى للحقل، وليس نموذج أينشتين أو دي سيتر، هو الذي أعطانا القاعدة الرياضية لمعظم النظريات الكوسمولوجية الحديثة.

ويوجد صنفان مختلفان جداً من نماذج فريدمان. فإذا كانت الكثافة

الوسطى لمادة الكون أقل من قيمة معينة حرجة أو تساويها، فإن الكون عندئـذ لا بـد أن يكون لا نهـائياً، وفي هـذه الحالـة يتوالى تـوسع الكـون إلى الأبد. وعلى العكس، إذا كانت كثافة المادة أكبر من هذه القيمة الحرجة، فإن الثقالة ستكـوّر الكون عنـدئذ على نفسـه، ويصبح منتهيـاً ولكن بلا حـدود، كما هـو الحـال في سطح الكـرة (أو بقول آخـر، إذا سرنـا على خط مستقيم في اتجاه ما، فإننـا لن نصادف أيـة نهايـة كانت أو طـرف، ولكننا سنجـد أنفسنا، بكـل بساطة، وقد عدنا إلى نقطة انطلاقنا). في هذه الحالة، يكون حقل الثقالـة من الشدة بحيث يكفي لأن يضع حداً لتوسع الكون، وعلى نحويُمكِّنه من العـودة إلى الانكماش لتزداد كثافة المـادة إزدياداً مـطرداً. إن القيمة الحـرجة للكثـافة متناسبة مع مربع ثابت هبل. ففي حالة الثابت الـذي أجمع العلمـاء اليوم على قبوله، أي ١٥ كم في الثانية لكل مليون سنـة ضوئيـة، تكون الكثـافة الحـرجة هي ٥×١٠^{-٣٠} غرام من السنتيمتر المكعب، أي ما يعادل تقـريباً كتلة ثـلاث ذرات من الهيدروجين في حجم قدره ألف ليتر.

في نماذج فريدمان، تتحرك كل مجرة نموذجية كما يتحـرك حجر قـذف شاقولياً من الأرض. فإذا كـانت سرعـة الحجر الابتـدائية كبيـرة كبراً كـافياً، أو بقـول آخر إذا كـانت الأرض صغيـرة صغـراً كـافيـاً (وهـذا يؤدي إلى النتيجـة نفسها)، فإن الحجـر سيتباطـأ بالتـدريج، ولكنـه سيفلت مع ذلـك من جاذبيـة الأرض لينهزم بعيداً إلى اللا نهايـة. وهذه الحـالة تتفق مـع الحالـة التي تكون فيها كثافة الكون أقل من قيمتها الحرجة. وإذا قذف الحجر بسرعة ابتدائية غير كافية، فإنه سيـرتفع حتى علو أقصى، ثم يسقط على الأرض. وهـذا يتفق مع الحالة التي تكون فيها الكثافة الكونية أكبر من قيمتها الحرجة.

إن هذا التشبيه يظهر لنا بوضـوح لماذا لا يمكن أن نجـد حلاً استقـرارياً لمعـادلات أينشتين، إذ لن تدهشنـا رؤية حجـر يرتفـع أو يسقط على الأرض، ولكن يصعب علينـا تصور حجـر يطلق ثم يبقى معلقـاً في الهواء بـلا حركـة. وهذا التشبيه يساعدنا أيضاً على تجنب التباس شائع حول تـوسع الكون. إذ إن المجرات لا تبتعد إحداها عن الأخرى تحت تأثير قوى دفع غامضة، أبداً، بل

هي كالحجر الذي لا تدفعه الأرض. والمجرات تشارك في هذا التوسع، لأنها بكل بساطة قذفت في ماض بعيد تحت تأثير شكل من أشكال الانفجار.

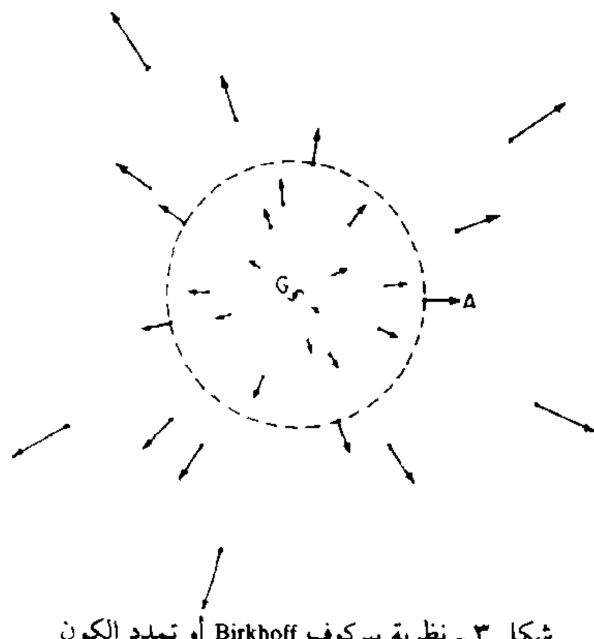
في العشرينات، لم يتحققوا أن خواص عديدة لنماذج فريدمان يمكن حسابها كمياً بهذا التشبيه. فلكي تحسبوا حركة مجرة نموذجية ما، ارسموا كرة تمر بهذه المجرة، بحيث يكون مركزها عند مجرتنا. إن حركة هذه المجرة بالنسبة لنا هي بالضبط نفس الحركة التي ستتبعها فيما لو كانت الكتلة الكلية للكون هي تلك التي تحتويها الكرة في داخلها ولا شيء في خارجها، والأمر بالضبط كما لو أننا حفرنا بئراً عميقةً جداً في الأرض، ثم أخذنا نلاحظ الأجسام فيها ـ سنجد أن تسارع الأجسام نحو مركز الأرض بتأثير الثقالة، يتوقف فحسب على كمية المادة الموجودة في المواضع الأقرب إلى المركز مما يلي الحجر من بئرنا، أي كما لو أن سطح الأرض أصبح منخفضاً إلى مستوى الحجر في كل لحظة من سقوطه[1]: وهذه النتيجة الهامة تستنبط من نظرية محققة في قوانين جاذبية أينشتين، كما في قوانين جاذبية نيوتن، لأنها لا تتعلق إلا بخواص التناظر الكروي للمنظومة التي ندرسها. وقد برهن على العبارة النسبية لهذه النظرية، الرياضي الأمريكي ج. د. بريكهوف عام ١٩٢٣، ولكن لم يتحققوا أهميتها الكوسمولوجية إلا بعد عشرات من السنين.

ويمكن أن تستخدم هذه النظرية لحساب الكثافة الحرجة في نماذج فريدمان (انظر الشكل ٣). فعندما نرسم كرة نحن في مركزها، وهناك مجرة بعيدة على سطحها، نستطيع أن نحسب اعتماداً على كتل المجرات الموجودة داخل الكرة، «سرعة الإفلات»، أي أدنى سرعة لازمة لهذه المجرة كي تهرب

---

(١) قد يسهل الأمر إذا تخيلنا الكرة الأرضية مؤلفة من سطوح رقيقة كروية متراكمة من المركز إلى السطح. ولنأخذ مثال الحجر الساقط في البئر. إن جاذبية السطوح الأرضية الأعلى من الحجر للحجر هي صفر (وهذا ما يبرهن عليه رياضياً)، وما يجذبه هو السطوح التي تحته فقط، أي السطوح التي تلي الحجر والقريبة من المركز.

المترجم



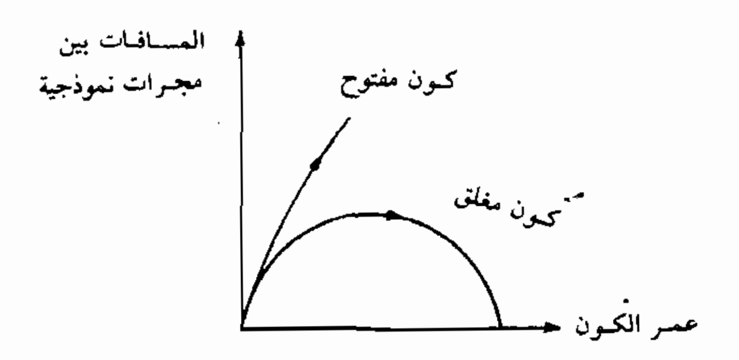
شكل ٣ ـ نظرية بيركوف Birkhoff أو تمدد الكون

٣ ـ لقد مثلنا عدداً من المجرات. كما أشرنا إلى سرعاتها بالنسبة إلى مجرة مفروضة G بأطوال واتجاهات أسهم (وفقاً لقانون هبل، هذه السرعات متناسبة مع المسافات عن G). إن نظرية بيركوف تنص على أن الكتلة المحتواة في داخل الكرة التي مركزها G وتمر بـ A (هذه الكرة ممثلة بدائرة متقطعة) هي وحدها التي يحسب حسابها عند دراسة حركة A بالنسبة إلى G. وإذا كانت A غير بعيدة جداً عن G، فإن حقل الثقالة الناتج من هذه الكتلة سيكون ضعيف الشدة نسبياً، وعندئذ يمكن حساب حركة A حسب قواعد الميكانيك النيوتوني.

إلى اللانهاية. وسيتبين لنا أن سرعة الإفلات هذه متناسبة مع نصف قطر الكرة، إذ كلما كانت كتلة الكرة كبيرة، كان على المجرة أن تسرع لكي تفلت منها. ولكن قانون هبل يقول لنا، إن سرعة مجرة على سطح الكرة، متناسبة كذلك مع نصف قطر الكرة، أي مع المسافة التي تفصلنا عن هذه المجرة. وعلى هذا: على الرغم من أن سرعة الإفلات تتعلق بنصف القطر، فإن نسبة سرعة المجرة الفعلية إلى سرعة إفلاتها لا تتوقف على حجم الكرة، لأن هذه النسبة هي ذاتها من أجل المجرات النموذجية كلها، وهي ذاتها مهما تكن المجرة التي اختيرت مركزاً. فبحسب القيم الموافقة لثابت هبل ولقيم الكثافة الكونية، إما أن يكون لسائر المجرات التي تخضع لقانون هبل سرعة أكبر من

سرعةِ الإفلات فتنهزم بالتالي إلى اللانهاية، وإما أن يكـون العكس، فتعود إلى التوجه نحونا يوماً ما. والكثافة الحرجة هي بكل بسـاطة قيمـة الكثافـة الكونيـة التي من أجلهـا تكون سـرعة انفـلات كـل مجـرة مسـاويـة بـالضبط لسـرعتهـا المستنتجة من قانون هبل[1]. فـلا يمكن للكثافـة الحرجـة أن تتعلق إلا بثابت هبل، فنجدها متناسبة طرداً مع مربع هذا الثابت (انظر الملحق الرياضي ٢).

ويمكن تعيين كيفيـة ارتبـاط قـدر الكـون (أي المسـافـة بين مجـرتين نمـوذجيتين) بالـزمن، بأدلـة مماثلة، ولكن النتـائج معقـدة إلى حد مـا (انـظر الشكل ٤). وأحد هذه الأدلة بسيط وستكون له بـالنسبة إلينـا أهمية كبيـرة فيما بعد: فخلال اللحظات الأولى من بداية الكون، كان قدره يزداد متناسباً مع قوة بسيطة للزمن المنقضي: إنها القـوة $\frac{٢}{٣}$ إذا أمكن إهمال كثـافـة الإشعـاع،



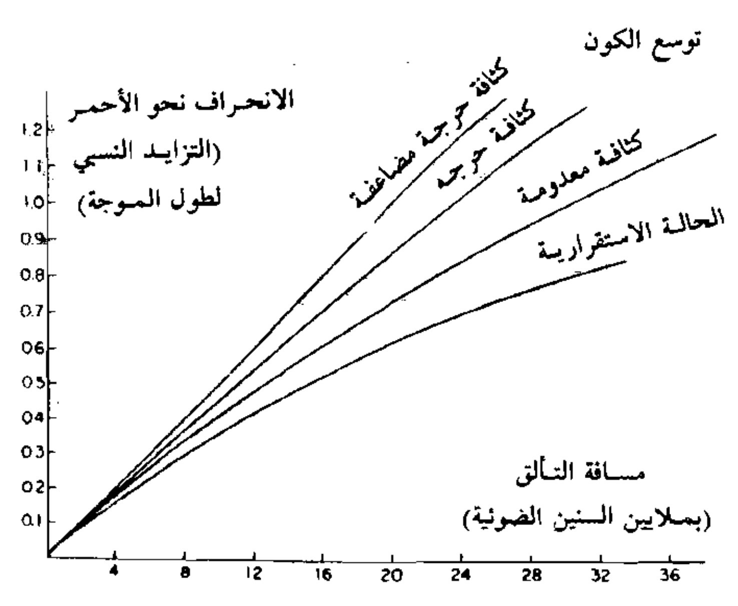
٤ ـ يمثـل هذا المخـطط المسافةَ الفاصلة بين مجـرتين نموذجيتين ممكنتي الـوجود (بواحدة اختيارية) بدلالة الزمن. ففي حالة «كون مفتوح» يكون الكـون غير منتـه. والكثافـة أقل من الكثافة الحرجة، ويتوالى التوسع ـ على الرغم من تباطئه ـ إلى الأبد. أما في حالـة «كون مغلق» فإن الكون منته، والكثافة أعلى من الكثافة الحرجة. وربما أخذ التوسع نهايته، وتبعـه طور من الانكمـاش. (حسبت المنحنيات بمعـادلات أينشتين للحقـل، بـدون ثـابت كوني، ومن أجل كون تسود فيه المادة).

---

(١) أي يمكن حساب الكثافة من المطابقة بين السـرعتين

(المترجم).

وهي القوة $\frac{1}{2}$ إذا كانت كثافة الإشعاع أعلى من كثافة المادة (انـظر الملحق الرياضي ٣). إن الجانب الوحيد من نماذج فرديمان الكوسمولوجية، الـذي لا



شكـل ٥ ـ العلاقـة بين المسافـة وبين الانحراف نحـو الأحمـر

٥ ـ يمثـل هذا المخـطط انحراف الأشعـة نحو الأحمـر بـدلالـة المسـافـة في أربـع نظريات كونية محتملة (أو بتحـديد أكثـر: إن المسافـة هنا هي مسـافة التـألق» أي هي التي نستنتجها اعتماداً على ملاحظة التـألق الظاهـري في حالـة جرم عـرف تألقـه المطلق. لقـد حسبت المنحنيات التي أشير إليها بالعبارات «كثافة حرجة مضاعفة»، «كثافة حرجة»، «كثافة معدومة»، في إطار نموذج فريدمان وبمساعدة معادلات الحقـل الأينشتيني، وذلك من أجـل كون تسوده المادة، وبدون ثابت كوني. وهـذه المنحنيات تعـود على التوالي إلى حـالات: كون مغلق، كون مفتوح كاد أن يغلق، كـون مفتوح (انـظر الشكل ٤). أمـا المنحني الذي أشير إليه بعبارة «الحالة الاستقرارية» فهو صالح من أجل كل نظرية لا يتغير فيها مـظهر الكـون مع الزمن. إن الأرصاد الجارية اليوم لا تتفق مع المنحني «الاستقراري»، ولكنها لا تساعد على اختيار واحد من الإمكانات الـثلاث الأخرى، لأن تـطور المجرات في النـظريات غيـر الاستقرارية، يجعل تحديد المسافات أمراً حساساً ومرهفاً جداً. رسمت المنحنيات كلها من أجـل قيمة لثـابت هبل هي ١٥ كم/الثـانية لكـل مليون سنـة ضوئيـة (وتتفق مع مـدة مميزة لتوسع الكون قدرهـا ٢٠ مليار سنـة). ولكن يمكن استخدام هـذه المنحنيات من أجـل قيم أخرى لهذا الثابت وذلك باعادة تدريج المسافات.

يمكن فهمه دون النسبية العامة هو العلاقة بين الكثافة وبين الهندسة. فالكون إما مفتوح وغير منتهٍ، وإما مغلق ومنته، وذلك حسبما تكون سرعة المجرات أعلى من سرعة الانعتاق (أو الإفلات) أو أدنى منها.

إن إحدى الطرق لمعرفة سرع المجرات أهي تتجاوز سرعة الإفلات أم لا، هي أن نقيس تباطؤها. فإذا كان هذا التباطؤ أدنى (أو أعلى) من قيمة معينة، فإن سرعة المجرات تتجاوز (أو على الترتيب، لا تتجاوز) سرعة الإفلات. وهذا يعني من الناحية العملية المحسوسة أن نقيس تقعر منحني تغيرات الانحراف نحو الأحمر بدلالة المسافة (انظر الشكل ٥). فعندما ننتقل من كون منتهٍ أكثر كثافة نحو كون غير منتهٍ أقل كثافة، ينبسط المنحني قرب المسافات الكبيرة جداً. وهذا ما يدعونه عادة «برنامج هبل».

وقد تضافرت على هذا البرنامج جهود مرموقة بذلها هبل وسانداج Sandage، ثم آخرون انضموا إليهم حديثاً. إن صعوبته تأتي من أن المجرات البعيدة جداً يستحيل أن نجد فيها نجوماً متغيرة من نمط السيفيئيد أو نجوماً شديدة اللمعان كي تؤخذ كمؤشرات على أبعادها عنا. فما على الباحثين إلا أن يقدروا هذه الأبعاد تبعاً لتألق هذه المجرات ذاتها. ولكن كيف لنا أن نعرف أن المجرات التي ندرسها لها كلها تألق واحد؟ (تذكروا أن التألق الظاهري هو الاستطاعة المبثوثة التي نستقبلها عند واحدة السطوح من التلسكوب، بينما التألق المطلق هو استطاعة التألق الكلية التي يبثها الجرم الفلكي في كل الاتجاهات. والتألق الظاهري متناسب طرداً مع التألق المطلق وعكساً مع مربع المسافة). وعلى هذا، فإن تأثيرات الاصطفاء بالغة الخطر، إذ إننا كلما رحنا ننظر إلى مسافات أبعد، زاد سعينا إلى اختيار مجرات تألقها المطلق أقوى. ثم إن هناك مشكلة أكثر وعورة، وهي تطور المجرات. فنحن عندما نرصد مجرات بعيدة جداً، فإننا نراها كما كانت من آلاف السنين، أي عندما بدأت الأشعة الضوئية رحلتها إلينا. فإذا كانت المجرات النموذجية في ذلك الحين أكثر لمعاناً مما هي عليه حالياً، فلا بد أننا سنتورط في سوء تقدير بعدها عنا. بل من الممكن ـ على نحو ما أثبت حديثاً السيدان أوسترايكر J. P. Ostriker

وتـريمين S.D. Tremaine من جامعـة برنسـتـون ـ ألا يكـون تـطور المجـرات خاضعاً لتطور نجومها الذاتية وحسب، بل ناجماً كذلك عن ابتـلاعها لمجـرات صغيرة مجاورة لها! ولا يزال يلزمنا الكثير من الوقت حتى نصبح على يقين من أننا نحيط إحاطة كمية مناسبة بمختلف الأنماط من تطور المجرات.

إن النتيجة الأكثر يقينـاً، التي يمكننا استنتـاجها في الـوقت الحاضـر من برنامج هبل، هي أن تباطؤ المجرات البعيدة، يبدو ضعيفـاً إلى حد مـا. وهذا يعني أنها تبتعد عنا بسرعة تفوق سرعة إفلاتها، فالكون مفتوح بالتالي، وسيظل يتابع توسعه إلى الأبد. وهذا يتفق طبعاً مع تقـديراتنـا للكثافـة الكونيـة، إذ إن المـادة المرئيـة في المجرات، يبـدو أنها لا تتجـاوز بضعة أجـزاء من مئـة من الكثافة الحرجة. ومع ذلك، ليس لدينا أبـداً يقين مطلق حـول هذا الأمـر. إن تقدير كتل المجرات الذي أجري في السنوات الأخيرة، كان في ازدياد. أضف إلى ذلـك، أنـه من الممكن كمـا ارتـأى ج. فيلد George Field من جـامعـة هارفارد، وآخـرون، أن يكون هنـاك غاز بين المجـرات مكون من هيـدروجين متـأين، وهو، وإن لم يكتشف بعـد، ولكن قـد يكـون بكميـة كـافيـة لأن تبلغ الكثافة الكونية الكثافة الحرجة.

ولكن لحسن الحظ، ليس ضـرورياً أن نعين هنـدسة الفضـاءات الهائلة للكون بكل دقة من أجل أن نحصل على نتائج متعلقة ببدئه. والسبب في ذلك هو أن للكون شكلاً من الأفق، وأن هذا الأفق ينكمش بسرعة عندما نعـود إلى البدايات الأولى.

إن كـل معلومة مهمـا تكن طبيعتها لا يمكن أن تنتشـر بسـرعـة أكبـر من سـرعـة الضـوء. ففي كـل لحـظة إذاً، لا يمكن أن نتلقى معلومـات إلا عن حوادث حصلت على قرب كاف منا، بحيث أن كـل شعاع ضـوئي (صادر عن هذا القرب) كان لديه الوقت الكافي لأن يصل إلينا منذ بدء الكون. وكل إشارة صادرة عن حادث وقع فيما وراء هـذه المسافـة، لا يمكن أن تصل إلينـا: لأن مثل هذا الحادث وقع وراء الأفق. وإذا كان عمر الكـون حاليـاً عشرة مليـارات

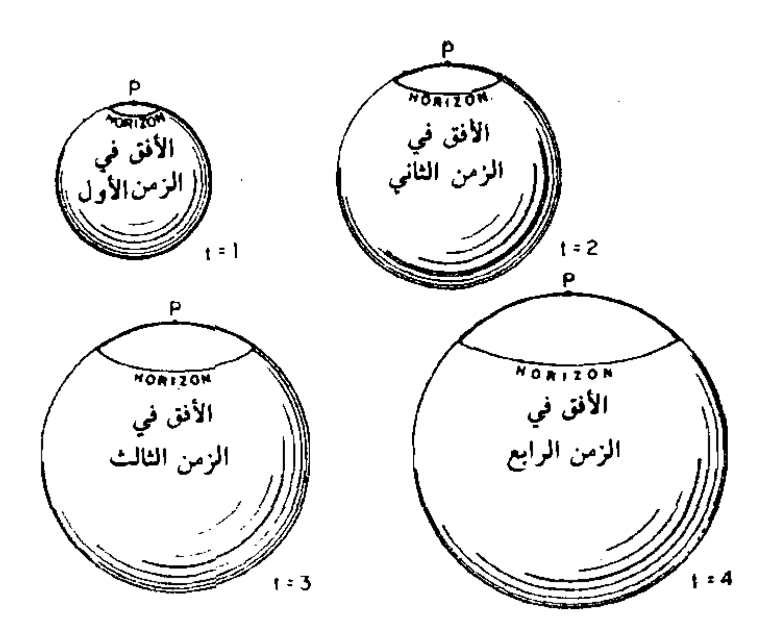
سنة، فإن الأفق يقع على بعد ٣٠ مليار سنة ضوئية[١]. ولكن، عندما لم يكن عمر الكون إلا بضع دقائق، كان الأفق على بعد بضع دقائق ضوئية فقط ـ أي أقل من المسافة الحالية بين الأرض وبين الشمس. كما أن الكون كان أصغر في ذلك الحين، وذلك بالمعنى الاصطلاحي الذي قدمناه، أي أن المسافة الفاصلة بين جرمين لا على التعيين كانت أقل مما هي عليه الآن. ولكن عندما نعود في الزمن إلى البداية الأولى، يتناقص بعد الأفق بسرعة أكبر من تناقص قدر الكون، لأن قدر الكون متناسب مع القوة $\frac{١}{٢}$ أو $\frac{٢}{٣}$ للزمن المنقضي (انظر الملحق الرياضي ٣)، في حين أن بعد الأفق متناسب تناسباً بسيطاً مع الزمن. وهكذا كلما عدنا إلى زمن أقدم وجدنا أن الأفق يضم جزءاً أصغر من الكون (انظر الشكل ٦).

إن انكماش الأفق في بدايات الكون، يدل على أن انحناء الكون بمجمله تصبح تغيراته أقل كلما عدنا القهقرى في الزمن. وهكذا فإن النظريات الكوسمولوجية والأرصاد الفلكية تقدم لنا صورة عن الكون لا بأس بوضوحها، على الرغم من أنها لم تكشف لنا عن أبعاده أو عن مستقبله.

لقد أتاحت لنا المعطيات التجريبية التي عولجت في هذا الفصل إمكانية البدء بتكوين تصور للكون، هو على قدر بساطته فخم ورائع. فالكون يتوسع توسعاً منتظماً ومتماثل المناحي، أو بقول آخر، إن المراقبين في سائر المجرات النموذجية، يرون دفقة مادية واحدة وفي جميع الاتجاهات. وفي أثناء هذا التوسع تزداد أطوال موجات الأشعة الضوئية متناسبة مع المسافة بين المجرات. ولا يُظنن أن هذا التوسع هو نتيجة لقوة كونية دافعة، بل إنه ببساطة سرعة انفلات وهروب اكتسبتها الأجرام عند حدوث انفجار سابق. وهذه

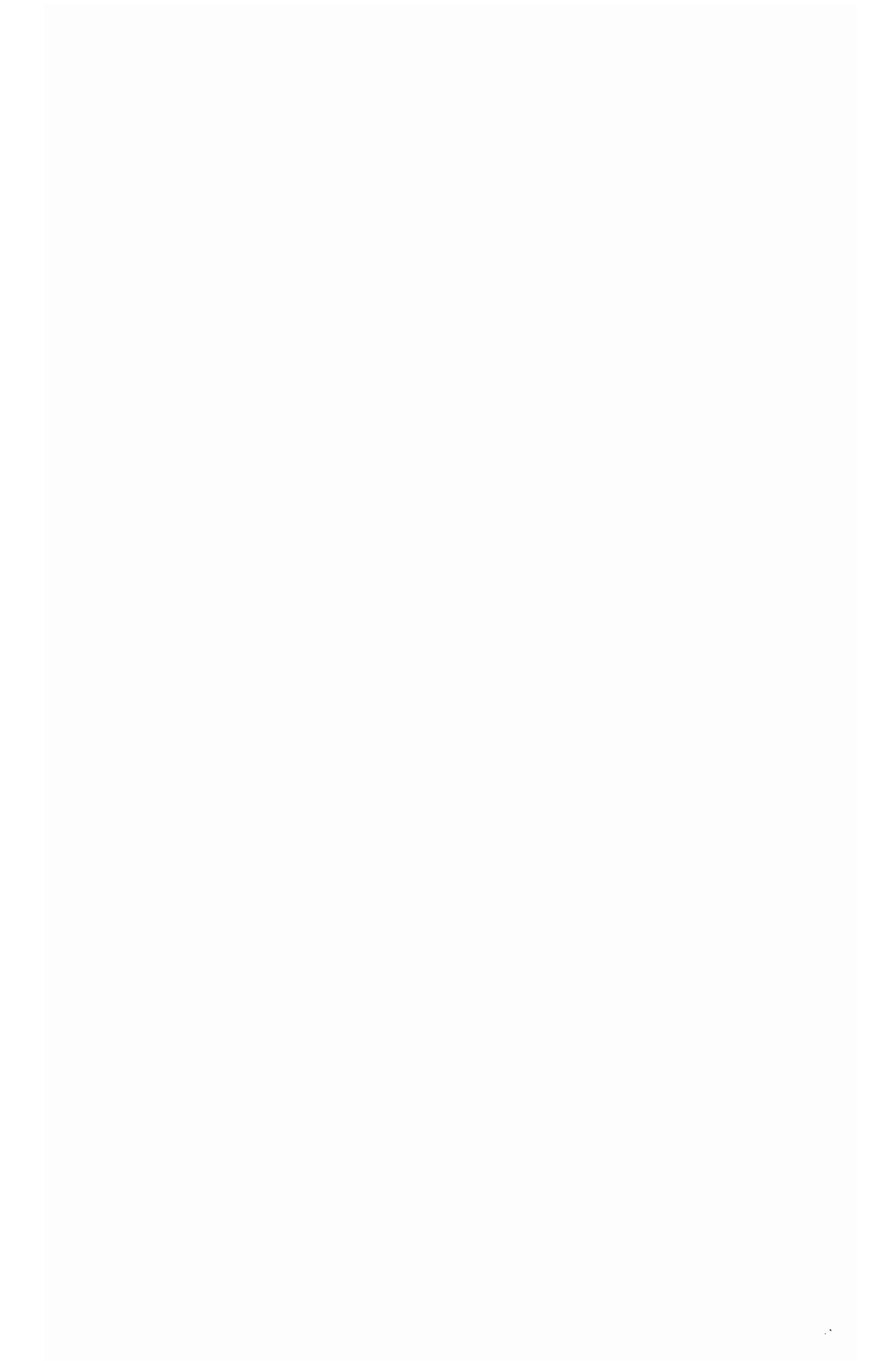
---

(١) هذه النتيجة وردت في الأصل الفرنسي والإنجليزي ولا يؤيدها الحساب حسب الملحق الرياضي (٣)، حيث نجد أن مسافة الأفق تساوي جداء سرعة الضوء في عمر الكون حتى اللحظة المعنية. ولما كانت سرعة الضوء في السنة هي سنة ضوئية، وعمر الكون حتى الآن عشر مليارات سنة، فمسافة الأفق الآن هي عشرة مليارات سنة ضوئية.



٦: لقد مثلنا الكون ـ الذي رمـزنا لـه بكرة ـ في أربـع لحظات تفصـل بينها فتـرات متساوية. إن «أفق» نقطة ما P، هو المسافة التي لا يكون لإشـارة ضوئيـة تصدر من أبعـد منها الوقت الكافي كي تصل إلى هذه النقطة. أما جزء الكون الذي يحده الأفق فتدل عليـه القبة الكروية التي ذروتها P. إن المسافة بين P وبين الأفق تتزايد متناسبة طـرداً مع الـزمن. إلا أن «نصف قطر الكون» يتزايد متناسباً طرداً مع الجذر التربيعي للزمن، وهذا ما يتفق مـع حالة كون يسوده الإشعاع. فكلما عدنا القهقرى في الزمن، نجد أن الأفق يحد جـزءاً أصغر من الكون. وكلمة أصغر تعني أصغر نسبياً في كون غير منته.

السرعة تتناقص تدريجياً تحت تأثير الجاذبية. ويبدو لنـا أن هذا التبـاطؤ خفيف إلى حد كافٍ، مما يوحي لنا بأن كثـافة المـادة في الكون ضعيفـة، وبأن شـدة حقـل الجاذبيـة ليست كافيـة لتجعل الكـون منتهيـاً أو لأن يعكس مثـلاً عمليـة التوسع. وتساعد حساباتنا على تعميم هذه السيـرورة وسحبها على المـاضي، وأن نستنتج من ذلك أنها بدأت منذ عشرة مليارات سنة أو عشرين.



الفصل الثالث

الخلفية[1] الكونية للاشعاع الراديوي

لم يكن في القصة التي رويناها في الفصل السابق ما يحير فلكيي العهود الماضية. فالصورة نفسها مألوفة لديهم، إذ لا شيء سوى مناظير ضخمة قابعة فوق قمم جبال كاليفورنية أو البيرو تنقب في سماء الليل، ومُراقب يقبع في برجه يحملق بالعين المجردة في السماء ليافجيء «الدب الأكبر». وهذه القصة، كما قلت في المقدمة، رويت فيما مضى مرات عديدة، بل وغالباً ما رويت بتفصيل أكثر.

أما الآن فسنتعرض إلى نوع آخر من الفلك، إلى قصة لم يكن بإمكاننا أن نرويها قبل عشر سنوات فحسب. إذ لم يعد من واجبنا أن نفحص أرصاد الضوء الصادر خلال المئة مليون سنة الأخيرة من مجرات مشابهة إلى حد ما لمجرتنا، بل علينا أن نفحص أرصاد خلفية كهرطيسية متفشية، هي من بقايا بداية الكون الأولى. كما أن المنظر سيتبدل بوجود سطوح مباني البحث الفيزيائي والمناطيد أو الصواريخ التي تحلق فوق جونا الأرضي، هذا بالإضافة إلى ريف نيوجرسي.

في عام ١٩٦٤ كان في حوزة مختبر شركة بل للهاتف هوائي راديو غير

(١) المقصود هو الضجيج الخفيف الذي يشبه الحفيف أو النش الذي نسمعه بشكل مستمر في المذياع أحياناً والذي يأتي مرافقاً لسائر الأصوات الأخرى وهذا ما دعا إلى تسميته بالخلفية (المترجم).

مـألوف جـداً، موضـوع فوق تلة كـراوفورد في هـولمدل في نيـوجرسي. هـذا الهوائي، كان قد أقيم لتأمين الاتصالات اللاسلكية بوساطة التابع الصنعي إيكو Echo (الصـدى)، ولكن مزايـاه جعلت منه أداة واعـدة مبشرة لـلاستعمـال في الفلك الراديوي Radioastronomic إذ كان مزوداً بعاكس قطره ٢٠ قدماً، ولـه ضجيج خلفية ضعيف جـداً. وقد شـرع عامـلان في الفلك الراديـوي هما آ. بنزياس و ر.و. ويلسـون Robert W. Wilson باستخـدام هذا الهـوائي لقياس شدة أمواج الراديو المنبعثـة من مجرتنـا إلى مجالات مجـرية مـرتفعة، أي إلى خارج مستوى درب اللبانة.

إن القياسات من هذا النوع يصعب جداً تحقيقها، لأن أحسن ما توصف به أمواج الراديو الصادرة عن مجرتنا، وكذلك أمواج الراديو التي ترسلها معـظم المنـابع الفلكيـة، هو أنهـا ضجة قـريبة الشبـه جداً من الضجـة الـدخيلة التي نسمعها من جهاز راديو لاقط في أثناء عاصفة جـوية. إذ يصعب علينـا أن نميز هذه الضجة الـراديويـة من الضجة الإلكتـرونية التي تـولدهـا لا محالـة حركـة الإلكترونات العشـوائية داخـل بنى الهوائي والـدارات المضخمة، وكـذلك من الضجـة الراديـوية النـاشئة عن الجـو الأرضي، التي يلتقطهـا الهوائي. وتخف صعوبة هذه المشكلة وحساسيتهـا عندمـا ندرس منبعـاً «صغيراً» نسبيـاً للضجة الراديوية، كنجم مثلاً أو مجرة بعيدة. ففي هذه الحالة يمكن أن نمسح السماء بالهوائي بين المنبع وبين مواضع السماء المجاورة. فالضجة الدخيلة الآتية من بنيـة الهـوائي أو من دارات المضخم أو من الجـو الأرضي ستكـون ذات شـدة واحـدة تقريبـاً، وذلك كيفمـا كان الهـوائي، أكان مسـدداً نحـو المنبـع أم لا، وبذلك يمكن حذفها بعد المقارنة بين الحالتين. ولكن بنزياس وويلسون حاولا أن يقيسا الضجة الراديوية الصادرة عن مجـرتنا الخـاصة ـ أو في حقيقـة الأمر، عن السماء نفسها. وهكـذا فقد كـان تحديـد كل ضجـة إلكترونيـة ناشئة عن الجهاز اللاقط نفسه هو على درجة حاسمة من الأهمية.

ولكن القياسات التي أجريت مسبقاً على هذا الجهاز، كشفت عن زيـادة قليلة في الضجة عما كـان متوقعـاً. وقد بـدا أن إرجاع هـذه الزيـادة إلى زيادة

خفيفـة في الضجة الإلكتـرونيـة في دارات المضخم، هـو التعليـل المقبـول.
ولكي يحل بنزياس و ويلسون مثل هذه المشاكل، استخدما طريقة تسمى ذات «الحمـولة البـاردة» ـ إذ قورنت الاستـطاعة الآتيـة من الهوائي مـع الاستـطاعـة المولدة من منبع صنعي مبرد بالهيليوم السائل إلى ما يقرب من ٤ درجـات فوق الصفر المطلق. فالضجة الراديويـة الآتية من دارات المضخم يجب أن تكـون هي نفسهـا في الحالين، وتنعـدم بالتـالي بالـطرح، ممـا يسـاعـد على قيـاس الاستطاعة الآتية من الهوائي قياساً مباشراً. فإذا قيست هذه الاستطاعة بالطريقة المذكورة، فإنها لا يمكن أن تكون ناشئة إلا من بنية الهـوائي نفسه ومن الجـو الأرضي ومن سائر المنابع الفلكية لأمواج الراديو.

كان بنزياس وويلسون يتـوقعان أن تتـولد في بينـة الهوائي ضجـة خفيفة جداً. ومع ذلك، ولكي يتحققا صحة هذا الافتراض، بدأا بالمقابل أرصادهما بطول موجة قصير نسبياً ـ ٧,٣٥ سم ـ إذ من أجل هذا الطول يجب أن تكـون أمواج الراديو الآتية من مجـرتنا مهملة. كمـا كان بـالإمكان تـوقع وجـود ضجة خفيفة آتية من الجو الأرضي من أجل طول الموجة هذا، ولكن كـان يجب أن تظهر ارتباطاً مميزاً مع اتجاه الرصد، إذ إنها ستكون متناسبة مع سماكة الهـواء في هذا الاتجاه، أي اتجاه الرصد، (أقل شدة في الاتجاه الرأسي، وأكثر شدة في اتجاه الأفق). وكانا يتوقعان ألا يبقى بعد طـرح حد يعبـر عن هذه العـلاقة مع الاتجاه، استطاعة لها دلالتها آتية من الهوائي، الأمر الذي كان سيؤكد لهما أن الضجـة الآتية من بنيـة الهوائي هي فعـلاً مهملة. وعندئـذ يمكن لبنزيـاس وويلسـون أن يتابعـا دراستهما على المجـرة نفسها من أجـل طول مـوجة أكبر، يقرب من ٢١ سم، إذ من أجل هذه الموجة، كانا يظنان أنهما سيجـدان ضجة أمواج راديوية **لا** يستهان بها آتية من المجرة.

(تدعى الأمواج الـراديويـة التي أطوال مـوجاتهـا من القدر ٧,٣٥ أو ٢١ سم أمـواجاً مليمتـرية، وهي تـأتي في التـرتيب بين الأمـواج الهيـرتيـزيـة وبين الأمواج العالية التواتر التي استعملتها الرادارات في بداية الحرب العالمية الثانية، راجع جدول خواص بعض نماذج الإشعاع).

ولكن بنزياس وويلسون دهشا لاكتشافهما وجود ضجة مليمترية لا يستهان بها من أجل ٧,٣٥ سم، وأن هـذه الضجة كـانت مستقلة عن اتجاه الـرصد. كما اكتشفا في ربيع عام ١٩٦٤ أن هذا الحقل لا يتغير، لا مع الـزمن ولا في أثناء اليوم، ولا مع الفصول. وكان يبدو أن هـذه الضجة لا يمكن أن تـأتي من مجـرتنا، وإلا لكـانت مجرة المـرأة المسلسلة (أنـدروميـد أو M31) الكبيـرة، الشبيهة في صفاتها الأساسيـة بمجرتنـا، ستصدر ضجـة قويـة من أجل ٧,٣٥ سم، ولكان بالإمكان ملاحظتها قبل ذلك. ولكن عـدم تغير هـذه الضجة كليـاً مع الاتجاه، كان يشير بشدة إلى أن أمواج الراديو هذه، إذا كانت حقاً موجودة، فإنها لا تأتي من درب اللبانة، بل من حيز من الكون أوسع كثيراً من ذلك.

وكان ضرورياً طبعاً أن يقررا، أن الهوائي نفسه لا يولد ضجة إلكتـرونية أقوى مما كانا يتـوقعان(١). فكـانا يعـرفان مثلاً أن زوجين من الحمام قـد بنيا عشهمـا في تجويف الهـوائي. لذلـك أسرت الحمـامتان وأرسلتـا بالبـريد إلى مختبـر بل في هـويباني، ثم أفلتتـا هناك، ولكن لِيُعثـر عليهما من جـديـد في هوائي «هولمدل» بعد عـدة أيام. فـأسرتـا من جديـد وصرفتـا نهائيـاً عن تكرار فعلتهما بوسـائل حـاسمة. ومهمـا يكن من أمر، فقـد كانت الحمـامتان خـلال إقامتهما، قد غطتـا تجويف الهـوائي بما دعـاه بنزيـاس باحتشـام «مادة بيضـاء عازلة». وكـان ممكناً لهـذه المادة في درجـة حرارة الجـو، أن تكون سببـاً في تـوليد ضجـة إلكترونيـة، فأنـزل الهوائي في بـداية عـام ١٩٦٥ ونظف. ولكن ذلك، بالإضافة إلى كل الجهود الأخـرى التي بذلت في هـذا الاتجاه، لم تؤد إلا إلى إنقاص ضعيف جداً في شدة الضجة الملاحظة. وهكذا ظل السر على حاله، وظل السؤال يتردد: ترى من أين تأتي هذه الضجة الميليمترية؟

كان المقدار الكمي الوحيد في حوزة بنزياس وويلسون هو شدة الضجـة

---

(١) أو بعبارة أخرى، كان يجب أن يقررا أن هذه الضجة المليمترية التي لا تتغير مع الاتجاه، ليست آتية من الهوائي نفسه

(المترجم).

الراديوية التي لاحظاها. ولكي يصفاها، استعملا مفردات مألوفة لدى مهندسي الراديو، ولكنها وجدت في هذه الحالة مدلولاً غير متوقع. فكل جسم مهما تكن طبيعته، لا بد أن يصدر في درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق، ضجة راديو ناجمة عن النشاط الحراري للإلكترونات التي تحتويها. وفي داخل وعاء جوانبه حاجبة للأشعة، لا تتوقف شدة ضجة الراديو إلا على درجة حرارة الوعاء: فكلما كانت درجة الحرارة مرتفعة، تكون شدة الحقل مرتفعة: فيمكن إذاً أن نعبر عن شدة ضجة الراديو الملاحظة من أجل طول موجة معينة بعبارات «درجة الحرارة المكافئة»، أي درجة حرارة جوانب الإناء الذي تكون ضجة الراديو في داخله لها هذه الشدة. من المؤكد أن التلسكوب الراديوي ليس مقياساً للحرارة، لأنه يقيس شدة موجة الراديو، وذلك بأن يسجل التيارات الكهربائية الصغيرة المحرضة في بنية الهوائي. فعندما يقول الفلكي الراديوي إنه يلاحظ ضجة راديوية معادلة لدرجة حرارة كذا وكذا، فإن ذلك يعني ببساطة أن الهوائي يجب أن يوضع داخل وعاء عاتم له درجة الحرارة هذه لكي يولد شدة ضجة الراديو التي لاحظها. أما أن يكون الهوائي موضوعاً فعلاً في مثل هذا الوعاء فهذا وضوحاً مسألة أخرى تماماً.

(لكي أتجنب اعتراضات الاختصاصيين، علي أن أوضح أن مهندسي الراديو يعبرون غالباً عن شدة ضجة الراديو بدلالة «درجة حرارة الهوائي». وهذه تختلف قليلاً عن درجة الحرارة المكافئة التي عرفناها أعلاه. وعلى كل حال، فإن التعريفين متكافئان فرضاً من أجل أطوال الموجات والشدات التي لاحظها بنزياس وويلسون).

لقد وجد بنزياس وويلسون أن درجة الحرارة المكافئة لضجة الراديو التي كانا يستقبلانها كانت قريبة من ٣,٥ درجة مئوية فوق الصفر المطلق (أو بدقة أكثر بين ٢,٥ و٤,٥ درجة فوق الصفر المطلق). ودرجات الحرارة هنا محسوبة بالدرجات المئوية، ولكن بالنسبة إلى الصفر المطلق وليس بالنسبة إلى نقطة ذوبان الجليد. أو هي محسوبة «بدرجات كلفن». وهكذا يمكن أن نعبر عن ضجة أشعة الراديو التي لاحظها بنزياس وويلسون بـ «درجة حرارة

مكافئة» هي ٣,٥ درجة كلفن، أو ٣,٥° ك باختصار. ودرجة الحرارة هذه أكبر بكثير مما كان متوقعاً، ولكن قيمتها المطلقة طبعاً، منخفضة جداً، فليس مستغرباً إذاً أن يعيد بنزياس وويلسون النظر في هذه النتيجة لفترة من الزمن قبل أن يذيعاها. وفي ذلك الحين لم يكن بالمستطاع حتماً أن يتخيلا أنهما أمام أهم خطوة تحققت في الكوسمولوجية منذ اكتشاف الانحراف نحو الأحمر.

ولم يتضح مدلول هذه الضجة الميليمترية الغامض إلا بعد حين، وذلك بفضل أعمال «المدرسة غير المرئية»(١) المكونة من العاملين في الفلك الفيزيائي. فقد حدث أن اتصل بنزياس بالهاتف (ولسبب آخر لا علاقة له بهذا)، مع صديق مختص بالفلك الراديوي وهو برنار بورك من معهد ماساتشوستس للتكنولوجية. وكان بورك قد انتهى لتوه من الاستماع إلى زميل آخر هوك. تورنر Ken Turner من معهد كارنيغي، عن ندوة كان قد حضرها في معهد جون هوبكنز John Hopkins ،وكان قد عقدها نظري شاب في برنستون هو ب. ج. إ. بيبلز. وفي أثناء هذه الندوة أكد بيبلز أنه لا بد من وجود ضجيج خلفية راديوي، على أساس أنها الأثر الباقي من بداية الكون، وأن درجة الحرارة الحالية المكافئة لها يجب أن تكون في مرتبه ١٠° ك. وكان بورك يعرف أصلاً أن بنزياس يعمل في قياس درجات الحرارة المكافئة لضجة الخلفية مستعيناً بهوائي مختبرات شركة بل. وهكذا استغل هذه المكالمة الهاتفية ليسأله أين وصلت أبحاثه، فأجابه بنزياس أن القياسات تسير سيراً مرضياً، ولكن ثمة شيء في النتائج لم يفهمه. فاقترح عليه بورك أن فيزيائي برنستون قد يكون لديه بعض الأفكار الهامة حول ما يستقبله الهوائي.

في هذه الندوة،وفي الأوراق المعدة للطبع في شهر آذار ١٩٦٥ درس

---

(١) هذا طبعاً على سبيل الدعابة، لأن الباحثين فيها يعملون بصمت وعزلة أو بشكل شخصي غير معلن وغير رسمي

(المترجم).

بيبلز الإشعاع الذي كان ممكناً وجوده عند بداية الكون. وكلمة «إشعاع» هنا طبعاً هي تعبير عام يشمل الأمواج الكهرطيسية بمختلف أطوالها، وليس أمواج الراديو وحسب، بل كذلك الضوء المرئي، والأشعة تحت الحمراء، وفوق البنفسجية، والأشعة السينية، والإشعاعات ذات الموجات القصيرة جداً الموسومة بأشعة غما (أنظر الجدول الثاني «خواص بعض نماذج الأشعة»). ولا انقطاع اطلاقاً بين مختلف هذه الإشعاعات، بل تمر تدريجياً من واحد إلى آخر بتغيير طول الموجة. وقد لاحظ بيبلز أنه لو لم توجد خلفية شديدة للإشعاع خلال الدقائق الأولى للكون، لحدثت التفاعلات النووية بسرعة تكفي لأن يتحول قسم كبير من الهيدروجين الموجود في ذلك الحين إلى عناصر أثقل منه، وهذا خلاف الواقع، لأن الهيدروجين يشكل حالياً ثلاثة أرباع الكون. ولا يمكن أن يمنع هذا التحضير (أو الطبخ) النووي السريع الذي يحطم النوى الثقيلة بالسرعة نفسها التي تتشكل فيها، إلا وجود إشعاع يملأ الكون وله حرارة مكافئة بالغة الارتفاع، وطول موجته قصير جداً[1].

وسنرى أن هذا الإشعاع سيصمد عند التوسع المستمر للكون، ولكن درجة حرارته المكافئة ستستمر في الهبوط في أثناء هذا التوسع بتناسب عكسي مع قدر الكون. (سنبرهن فيما بعد أن هذا الهبوط هو نتيجة الانحراف نحو الأحمر الذي درسناه في الفصل الثاني). وينتج عن ذلك أن الكون الحالي يجب أن يكون هو أيضاً ممتلئاً بالإشعاع، ولكنه إشعاع ذو درجة حرارة أقل كثيراً من درجة الحرارة في الدقائق الأولى. وقد قدّر بيبلز أن أصل هذا الإشعاع لا بد أنه كان من الشدة بحيث تصبح درجة حرارته الحالية ١٠° ك على الأقل، وذلك لكي تتمكن هذه الخلفية المتبقية من الإشعاع من المحافظة على إنتاج كمية هيليوم الدقائق الأولى في حدودها المعروفة حالياً.

هذا الرقم ١٠° ك هو في حقيقة الأمر تقدير مبالغ فيه، إذ أتت محله بعد

(١) لأنه بمثل هذا الإشعاع تتفكك النوى الثقيلة لتعود إلى ما كانت عليه فلا تتشكل العناصر الثقيلة (المترجم).

حين حسابات أخرى أكثر دقة وإعداداً. هذه الحسابات أنجزها بيبلز نفسه وباحثون آخرون. وسنرى دراسة لها في الفصل الخامس. والحقيقة أن أوراق بيبلز لم تنشر أبداً بشكلها الأصلي. ولكن مهما يكن من أمر، فإن الشيء الأساسي في استنتاجه كان صحيحاً. إذ إننا نستطيع، بالاعتماد على وفرة الهيدروجين الملاحظة حالياً، أن نستنتج أن الكون خلال دقائقه الثلاث الأولى كان مليئاً بكمية هائلة من الإشعاع، الذي كان وحده يمكن أن يمنع تشكل زيادة هامة في العناصر الأثقل من الهيدروجين. ومذ ذاك أخذ توسع الكون بإنقاص درجة الحرارة المكافئة لهذا الإشعاع إلى بضع درجات كلفن، واستمر هكذا إلى أن ظهر حالياً على شكل ضجة خلفية راديوية تستقبل في كافة الاتجاهات بالشدة نفسها. وقد رأوا في ذلك مباشرة تفسيراً طبيعياً لاكتشاف بنزياس وويلسون. وهكذا، وبصورة ما، فإن هوائي هو لمديل «نفسه» موجود فعلاً في «علبة» ـ هذه العلبة هي الكون بأكمله. إلا أن درجة الحرارة المكافئة التي سجلها الهوائي ليست هي درجة حرارة الكون الحالية، بل هي بالأحرى درجة حرارته القديمة جداً التي نقصت بنسبة توسع قدر الكون المذهل منذ ذلك الحين.

لم يكن عمل بيبلز سوى الأحدث بين سلسلة من التأملات الكوسمولوجية المماثلة. ففي نهاية الأربعينات كان ج. غاموف George Gamow ومساعده رالف ألفير وروبيرت هيرمان قد صاغوا في الحقيقة نظرية انفجار كبير للتركيب النووي. وقد استخدم رالف ألفير وروبيرت هيرمان هذه النظرية في عام ١٩٤٨ ليتنبأ بوجود خلفية إشعاعية درجة حرارتها الحالية تقرب من ٥° ك. وفي عام ١٩٦٤ قام ي. ب. زيلدوفيتش Y. B. Zeldovitch في الاتحاد السوفياتي بحسابات مشابهة، وكذلك فريد هويل ور. ج تيلر R. J. Tayler في بريطانية وبشكل مستقل. ولكن هذه الأعمال القديمة لم تكن منتشرة بين الفئات العاملة في مختبرات بل وبرنستون، ولم يكن لها أي تأثير في اكتشاف خلفية الإشعاع، لذلك لن نبحث في تفاصيلها قبل الفصل السادس، أما لماذا لم يدفع عمل من هذه الأعمال النظرية القديمة إلى

تحرٍ تجريبي عن الخلفية الكونية للأمواج الميليمترية، فهذا سؤال سنتركه أيضاً معلقاً إلى الفصل السادس.

إن الحسابات التي أجراها بيبلز عام ١٩٦٥ كانت مستوحاة من فكرة طرأت للفيزيائي روبرت هـ. ديك. وديك هذا هو مجرب مشهور من برنستون. (فمن بين ما ابتكره، بعض التقنيات التي أدت في الفلك الراديوي إلى دراسة الأمواج الميليمترية). ففي سنة ١٩٦٤ كان ديك قد بدأ يتساءل: ألا يمكن أن يكون هناك إشعاع يمكن ملاحظته، هو من بقايا حقب حار وكثيف لبداية التاريخ الكوني. وكانت هذه التأملات مبنية على نظرية «اهتزازية» للكون سنعود إليها في الفصل الأخير من هذا الكتاب. ويبدو أن ديك لم يكن يتنبأ بدرجة حرارة ما للإشعاع المتبقي، ولكنه فهم الشيء الأساسي: ثمة شيء يستحق جهد الملاحظة. وقد اقترح (أي ديك) على ب. ج. رول P. G. Roll و د. ت. ويلكينسون D. T. Wilkinson أن يشرعا في البحث عن إشعاع مليمتري. وقد بدأا فعلاً بتركيب هوائي صغير ضجته الخلفية ضعيفة، على سطوح مخبر بالمر للفيزياء في برنستون. (وليس مجدياً أن يستخدما تلسكوباً كبيراً في مثل هذا العمل، لأن الإشعاع يأتي من جميع الجهات، ولا يمكن أن يربحا شيئاً من حصولهما على حزمة ملمومة باختناق في المحرق).

وقبل أن يتمكن ديك ورول و ويلكينسون من إنهاء قياساتهم، تلقى ديك مكالمة هاتفية من بنزياس. وكان هذا قد استمع لتوه إلى بورك وهو يتحدث عن أعمال بيبلز. فقرروا أن ينشروا مذكرتين مرفقتين معاً في مجلة الفيزياء الفلكية. وفي هاتين المذكرتين أعلن بنزياس وويلسون عن مشاهداتهما، وأعطى ديك ورول وويلكينسون لهذه المشاهدات التأويل الكوسمولوجي. وكان بنزياس وويلسون لا يزالان متحفظين، فعنونا مقالتهما بعنوان متواضع (قياس زيادة درجة الحرارة في هوائي عند التواتر ٤٠٨٠ مليون هزة في الثانية)، بمعنى أن الهوائي كان معيراً على تواتر ٤٠٨٠ مليون هزة في الثانية، وهذا يقابل طول موجة ٧,٣٥ سم. وأعلنا بكل بساطة أن «قياس درجة حرارة

الضجة الفعلية في اتجاه السمت (. . .) أعطى قيمة أعلى مما كان متوقعاً بحوالي ٣,٥° ك[١]» وتجنبا إعطاء أي ملاحظة كوسمولوجية، ما عدا ملاحظة جانبية تشير إلى أن: «تفسيراً مستساغاً لدرجة حرارة الضجة الزائدة الملاحظة سيقدمه ديك وبيبلز ورول و ويلكينسون في مقالة مرفقة في هذا العدد».

ترى، هل الإشعاع المليمتري الذي اكتشفه بنزياس وويلسون هو حقاً أثر باقٍ من بداية الكون؟ قبل أن نفحص التجارب التي أنجزت منذ عام ١٩٦٥ لكي نتبين صحة هذا الأمر، علينا أن نحدد ما تتنبأ به النظرية: ما الخواص العامة للإشعاع الذي يفترض أنه يملأ الكون إذا كانت الأفكار الكوسمولوجية التي شاع قبولها صحيحة؟ هذا السؤال يقودنا إلى أخذ تطور الإشعاع خلال توسع الكون بعين الاعتبار ـ لا في لحظة التركيب النووي في نهاية الدقائق الثلاث الأولى وحسب، بل خلال الزمن الذي انقضى منذ ذلك الحين.

ومنذ الآن سيكون أفضل كثيراً لنا أن نترك صورة الإشعاع الكلاسيكية التي تصف الإشعاع على أنه أمواج كهرطيسية ـ وهذا ما استخدمناه حتى الآن ـ لكي نتبنى وجهة النظر «الكمومية» الأحدث منها، والتي تقول إن الإشعاع مكون من جسيمات تدعى فوتونات. إن الضوء العادي يحتوي على عدد هائل من الفوتونات التي تنتقل معاً. ولكن إذا أردنا أن نقيس بكل دقة، الطاقة التي ينقلها قطار أمواج، فإننا سنجد دائماً مضاعفات كمية معينة هي التي نعرّفها بأنها طاقة فوتون واحد. إن طاقة الفوتون، كما سنرى، صغيرة جداً، حتى أن موجة كهرطيسية ما، تتصرف في معظم الحالات المحسوسة وكأنها تستطيع أن تنقل أي كمية من الطاقة. ومع ذلك، فإن الفوتونات، تتدخل بصورة إفرادية خلال تبادل التأثير بين إشعاع ما وبين ذرة، أو بينه وبين

---

(١) لأن بنزياس وويلسون توقعا في الأصل ضجة خلفية للهوائي، هي أقل من ذلك بكثير أي شبه معدومة

(المترجم).

نواة ذرية. فوجهة النظر الجسيمية أنسب لدراسة سيرورة كهذه من وجهة النظر التموجية. إن كتلة الفوتونات وشحنتها الكهربائية هما صفر (معدومتان)، ولكن الفوتونات مع ذلك هي جسيمات حقيقية ـ كل فوتون ينقل طاقة واندفاعاً محددين، وله أيضاً سبين (مثل حركة دورانية مغزلية) حول اتجاه حركته.

فما الذي يحدث لفوتون يرحل بمفرده في خط مستقيم عبر الكون؟ لا يحدث شيء مهم، على الأقل في كوننا الراهن. فالضوء الصادر عن أجرام تبعد عنا عشرات المليارات من السنين الضوئية، يبدو أنه يصل إلينا دون تغيير. وعلى هذا، مهما تكن المادة الموجودة في الفضاء بين المجرات، فإنها شفافة بما يكفي لأن تتمكن الفوتونات من متابعة رحيلها عبر هذا الفضاء في أثناء جزء لا بأس به من عمر الكون دون أن تعاني امتصاصاً أو انتثاراً.

ومع ذلك، فإن انحراف ضوء المجرات البعيدة نحو الأحمر يشير إلى أن الكون في حالة توسع. فمحتواه بالتالي، لا بد أنه كان مضغوطاً فيما مضى أكثر مما هو الآن. وبوجه عام ترتفع درجة حرارة السائل عندما يكون مضغوطاً. فيمكننا أن نستنتج من ذلك أن مادة الكون كانت أكثر حرارة فيما مضى. ونظن تبعاً لهذا الواقع، أنه مرت على الكون فترة دامت على الأرجح، كما سنرى، سبعمئة ألف سنة من بداية عمره، كان فيها حاراً وكثيفاً لدرجة أن المجرات والنجوم لم يتح لها أن تتشكل، وكانت الذرات فيها تتفكك إلى مكوناتها: الإلكترونات والنوى.

وفي ظروف كهذه لا تبعث كثيراً على السرور، لا يمكن للفوتون أن يرحل مثلما يرحل في كوننا الحالي، دون أن يصادفه عائق، وخاصة في سفر طويل. فهذا الفوتون كان يجد في طريقه عدداً لا يستهان به من الإلكترونات الحرة التي تقدر أن تنثره أو تمتصه امتصاصاً فعالاً. وفي حالة الانتثار، يتخلى الفوتون بوجه عام عن قليل من طاقته للإلكترون، أو يأخذ منه شيئاً من الطاقة، وذلك حسبما تكون طاقة الأول الابتدائية أكثر أو أقل من الثاني. إن مدة «السير المتوسط الحر» التي يستطيع أن يسير فيها الفوتون دون أن يمتصه عائق

أو أن يجري على طاقته تعديل لا يستهان به، كانت في ذلك الوقت قصيرة جداً، بل أقصر كثيراً من المدة المميزة لتوسع الكون. ومدة المسير المتوسط الحر، العائدة للجسيمات الأخرى، أي الإلكترونات والنوى الذرية، كانت أقصر حتى من ذلك. وهكذا فإن الكون، على الرغم من أنه كان من وجهة نظر معينة، يمر في سيرورة توسع سريع جداً، فإن هذا التوسع بالنسبة إلى فوتون أو إلكترون أو نواة ذرية كلاً على حدة، كان يسير ببطء شديد، بل من البطء بحيث أنه يمكن لكل واحد من هذه الجسيمات أن يُنثر، أو يُمتص، أو يمتص ويبث من جديد، عدداً كبيراً من المرات خلال هذا التوسع.

كل منظومة من هذا النوع، يكون فيها للجسيمات وقت كاف كي يؤثر بعضها في بعض عدداً كبيراً من المرات، لا بد أن تتوصل في النهاية إلى حالة من التوازن. إن عدد الجسيمات التي تأخذ خواصها (الموضع، الطاقة، السرعة، السبين، الخ) قيماً محصورة في مجال معين، هذا العدد، سيستقر، بحيث أن عدد الجسيمات التي تخرج من هذا المجال في واحدة الزمن يصبح مساوياً لعدد الجسيمات التي تدخل فيه. إن خواص منظومة كهذه، لن يحددها شرط من الشروط الابتدائية، بل تحددها المتطلبات التي تقتضيها المحافظة على حالة التوازن. طبعاً، إن كلمة «توازن» لا تعني (هنا) أن تكون مجموعة الجسيمات مجمدة ـ فكل جسيم يتصادم باستمرار مع جيرانه. بل إن التوازن بالأحرى ذو طبيعة إحصائية ـ إن الشيء الذي لا يتغير، أو يتغير ببطء، هو توزع الجسيمات بحسب أوضاعها وطاقاتها والمقادير الأخرى التي تميزه.

ويدعى مثل هذا التوازن الإحصائي عامة «توازناً حرارياً»، لأن هذه الحالة تتميز بدرجة حرارة معينة يجب أن تظل منتظمة في المنظومة كلها. وفي حقيقة الأمر، لا يمكن أن نعرّف درجة حرارة بالمعنى الحصري بكل دقة إلا في منظومة متوازنة حرارياً. ويزودنا فرع الفيزياء النظرية الموسوم «بالميكانيك الإحصائي» بوسيلة رياضية تساعدنا على حساب خواص كل منظومة متوازنة حرارياً، حساباً فعالاً ونافذاً.

ويمكن تشبيه كيفية اقتراب منظومة من التوازن الحراري بالطريقة التي تعمل بها آلية الأسعار في الاقتصاد التقليدي. فإذا كان الطلب أكثر من العرض، يرتفع سعر البضاعة، ويحد بذلك من الطلب الفعلي، ويحض في الوقت نفسه على زيادة الإنتاج. وإذا كان العرض، أكثر من الطلب، تنخفض الأسعار، ويحض بذلك على الطلب الفعلي، ولكنه يثير الخوف من كل زيادة في الإنتاج. وبطريقة مماثلة: بحسب ما يكون هناك المزيد جداً من الجسيمات (أو القليل جداً من الجسيمات) لها طاقة وسرعة إلخ ذات قيم واقعة في مجال معين، فإن هذه الجسيمات ستترك المجال بأسرع (أو بأبطأ) من دخولها فيه، حتى يتم التوازن[1].

إن آلية الأسعار لا تسير طبعاً كما يتنبأ الاقتصاد التقليدي بشكل دائم. ولكن هذه الحالة لها هنا أيضاً ما يماثلها ـ فمعظم المنظومات الفيزيائية الحقيقية هي بعيدة إلى حد ما عن التوازن الحراري. أما في قلب النجوم ذاتها، فهناك يسود توازن حراري يكاد يكون تاماً. وهذا ما يساعدنا على تقدير الظروف الفيزيائية فيها بشيء من اليقين. ولكن سطح الأرض ليس متوازناً حرارياً في أي مكان، ولا في حالة تقرب من التوازن. ولهذا السبب لا يمكننا أن نتنبأ أن السماء ستمطر غداً أم لا. ولم يمر الكون أبداً في حالة توازن حراري تام، ذلك على كل حال لأنه في حالة توسع. ومع ذلك يمكن أن ننظر إلى الكون في أثناء فترته الأولى التي كانت فيها معدلات انتشار الجسيمات الفردية وامتصاصها أسرع جداً من توسعه، أقول يمكن أن ننظر إليه على أنه كان يتطور «ببطء» من حالة قريبة من التوازن الحراري التام إلى حالة أخرى منه.

---

(١) إن زيادة عدد الخارجة في الحالة الأولى على عدد الداخلة يقلل من عدد جسيمات المجال، وهذا بدوره يحد من عدد الخارجة ويزيد الداخلة إلى أن يتم التوازن، وفي الحالة الثانية بالعكس

(المترجم).

وهذه نقطة حاسمة بالنسبة إلى ما يهدف إليه هذا الكتاب[1]، وأعني بالنقطة أن الكون قد مر في لحظة من لحظات تاريخه بحالة توازن حراري. إذ إن خواص كل منظومة في حالة توازن حراري يمكن أن تحدد تحديداً كاملاً اعتماداً على القوانين التي بينها الميكانيك الإحصائي، وذلك بعد إعطاء حرارتها وكثافة بعض كمياتها (التي سنتحدث عنها بتفصيل أكثر في الفصل القادم). وهكذا فإن الكون لا يحتفظ إلا بذكرى باهتة جداً عن ظروف بدئه. وهذا ما يؤسف له جداً إذا أردنا أن نستعيد بداية الكون نفسها. ولكنه بالمقابل، يساعدنا على استنتاج مجرى تطوره منذ بدايته دون الاستعانة بالمزيد من الفرضيات التعسفية. لقد رأينا أن الإشعاع الميليمتري الذي اكتشفه بنزياس وويلسون، يعد أثراً من آثار الزمن الذي كان فيه الكون في حالة توازن حراري. فلكي نحدد الخواص التي نتوقع ملاحظتها في هذه الخلفية للإشعاع، علينا إذاً أن نتساءل ما الخواص العامة لإشعاع في حالة توازن حراري.

إن هذه المسألة، كانت بالضبط هي الأصل تاريخياً في تطور نظرية الكم وتأويل الإشعاع بتعابير الفوتونات. ففي حوالي العام ١٨٩٠، كان قد تبين أن خواص الإشعاع الموجود في حالة توازن حراري مع المادة، لا تتعلق إلا بدرجة الحرارة. أو بتحديد أكثر، إن كمية الطاقة في واحدة الحجوم، وفي أي مجالٍ لطول الموجة، تعطى بدستور عام لا يدخل فيه إلا طول الموجة ودرجة الحرارة. وهذا الدستور ذاته يعطي كمية الإشعاع المحتواة في وعاء جوانبه حاجبة للإشعاع، بحيث يمكن للفلكي الراديوي أن يستخدمه لتأويل شدة الضجة الراديوية التي يلاحظها بدلالة «درجة الحرارة المكافئة». ولكن هذا الدستور يعطي بوجه خاص كمية الإشعاع الصادرة في الثانية من سنتيمتر مربع من أجل طول موجة ما، من سطح يمتص الأشعة كلها. وهذا هو

---

(١) حاسمة بمعنى أنها فرضية أساسية اعتمد عليها الكتاب وبطلانها بغير الكثير (المترجم).

السبب الـذي من أجله دعي مثل هـذا الإشعاع «بـإشعاع الجسم الأسـود». أو بقـول آخر: يتميـز إشعاع الجسـم الأسـود بتـوزيـع معين للطاقـة حسب طـول الموجة، ويعـطى هذا التـوزيع بـدستور شـامل لا يتعلق إلا بـدرجة الحـرارة. وكانت المعضلة الشائكة التي كان على كـل فيزيائيي تسعينات القـرن الماضي أن يحلوها هي معضلة تعيين هذا الدستور.

إن الدستور الصحيح لإشعاع الجسم الأسود، هو الـدستور الـذي وجده مـاكس كارل إرنيست لـودفيغ بـلانك في الأسـابيع الأخيـرة من القرن التـاسع عشر. وقد عرضنا الشكل الدقيق «لتـوزيع بـلانك» على الشكـل (٧) من أجل درجة الحرارة الخاصة ٣° ك. وهي درجـة حرارة الضجـة الميليمتريـة الكونيـة التي تمت الأرصاد حولها. ويمكن أن نلخص دستور بلانك كيفياً على الصورة التـالية: في علبـة مليئة بـاشعاع الجسم الأسـود، (وفي درجة حـرارة معينـة)، تزداد الطاقة المحتواة في أي مجالٍ لطول الموجة، بسرعة كبيرة مع تزايد طول الموجة، ثم تبلغ نهاية عظمى، لتعود فتهبط بسرعة كبيـرة أيضاً[١]. إن تـوزيع بلانك هذا، هو توزيع كـوني، فهو لا يتعلق بـطبيعة المـادة التي يتبادل التـأثير معها، بل يتعلق وحسب بدرجة حرارتها. وعلى هذا، لا بد أن الكون كان في تقديرنا مليئاً باشعاع الجسـم الأسود الذي درجة حرارتـه مساويـة لدرجـة حرارة المـادة، هذا على الأقـل خلال المـلايين الأولى من سني عمـره عنـدمـا كـان الإشعاع والمادة في حالة توازن حراري.

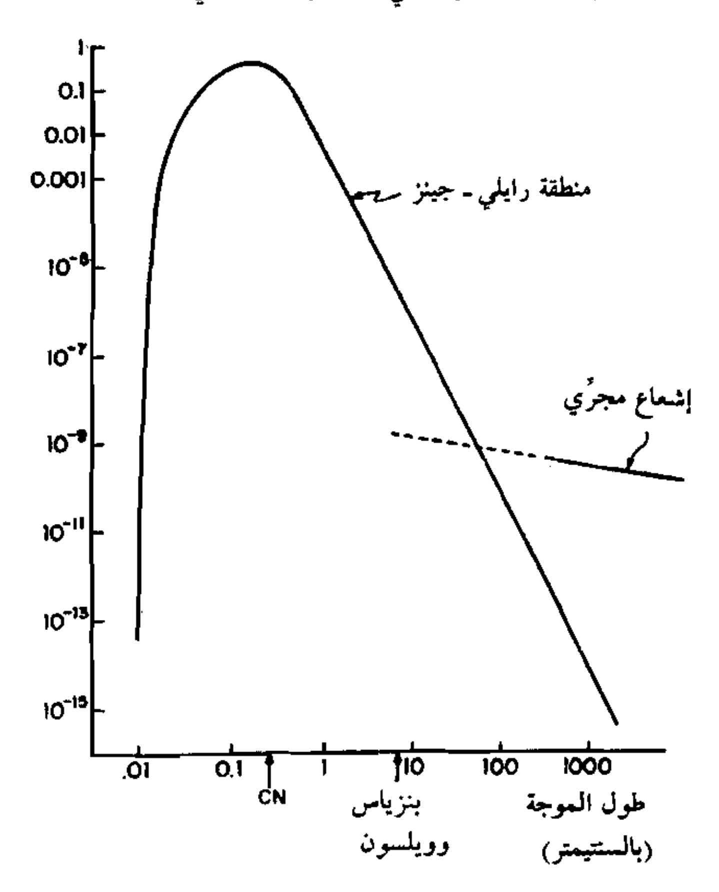
إن حسابات بـلانك، تمتـد أهميتها إلى أبعـد من مسألـة إشعاع الجسم الأسود، لأنها أدخلت الفكـرة الجديـدة التي تقول إن الـطاقة تبـدو على شكل قطع متمايـزة، أو «كموم». ولم يـول بلانـك اهتمامـه في باديء الأمـر إلا إلى إكمام (أو استكمام) طاقة المادة الموجودة في حالة توازن مع الإشعاع. غير أن

---

(١) إن معدل تغير كثافة الطاقة بالنسبة إلى تغير طول الموجة يزداد عندما يزداد طـول الموجـة، إلى نهاية عظمى ثم يأخذ بالتناقص

(المترجم).

كثافة الطاقة الطيفية في واحدة الحجوم عند ٣ ك
(إلكترون ـ ڤولت في سنتيمتر مكعب وفي سنتيمتر)



٧ ـ يمثل هذا المخطط تغير كثافة الطاقة في واحدة الحجوم من أجل واحدة مجال لطول موجه بدلالة طول الموجة، وذلك من أجل جسم أسود في درجة الحرارة ٣ ك (من أجل درجة حرارة أعلى من ٣ ك بـ f مرة، يكفي أن يصغر طول الموجة بنسبة $\frac{1}{f}$ وأن نزيد كثافة الطاقة بنسبة f^4). إن القسم المستقيم من المنحني في جهة اليمين، يمكن وصفه تقريبياً بتوزيع رايلي ـ جينز، وهو أسهل من دستور بلانك. ولكن منحنياً من هذا الشكل هو ما نتوقع ملاحظته من أجل عدد من الحالات المتنوعة التي هي غير حالة إشعاع الجسم الأسود. إن التناقص المفاجيء نحو اليسار هو نتيجة للطبيعة الكمومية للإشعاع، وهذه خاصة مميزة لإشعاع الجسم الأسود. والخط المعني بـ «الإشعاع المجري» يبين لنا شدة الضجة الراديوية الآتية من داخل مجرتنا، (يشير السهمان إلى طول الموجة في أول قياس قام به بنزياس وويلسون، وكذلك إلى طول الموجة الذي يمكن أن نستنتج له درجة حرارة إشعاع اعتماداً على قياسات الامتصاص التي تتطلبها أول حالة مستثارة من حالات دوران (السيانوجين) CN الموجود بين النجوم).

أينشتين اقترح بعد عدة سنوات أن الإشعاع نفسه موزع على كموم دعيت فيما بعد فوتونات. وقد أدت هذه التطورات من بين تطورات أخرى إلى واحدة من أكبر الثورات الفكرية في تاريخ العلم، وهي أنها استبدلت بالميكانيك الكلاسيكي لغة الميكانيك الكمومي الجديدة كل الجدة.

ولن نستطيع في هذا الكتاب أن نغوص بعيداً في ميدان الميكانيك الكمومي. إلا أننا إذا تفحصنا بسرعة كيف تؤدي صورة الإشعاع المعبر عنها بعبارة الفوتونات إلى توزيع بلانك، فإن هذا الفحص سيساعدنا على فهم سلوك الإشعاع في كون يتوسع.

إن السبب في هبوط كثافة طاقة إشعاع الجسم الأسود هذا الهبوط السريع، من أجل أطوال الموجات الكبيرة جداً، هو سبب بسيط للغاية: وهو أنه يصعب إدخال إشعاع في حجمٍ أبعاده أصغر من طول موجة هذا الإشعاع. وهذا على الأقل ما يمكن فهمه (بل وكان مفهوماً) دون الاستعانة بنظرية الكم، وإنما بمجرد الاعتماد على النظرية التموجية الأقدم من نظرية الإشعاع.

بالمقابل، إن نقصان كثافة طاقة إشعاع الجسم الأسود عندما نتجه نحو أطوال الموجات القصيرة فالأقصر، هو أمر غير مفهوم في إطار تمثيل غير كمومي للإشعاع، وهذه نتيجة معروفة من الميكانيك الإحصائي، وهي أنه عند كل درجة حرارة، يصعب توليد جسيم ما، أو موجة أو أية إثارة مهما تكن، لها طاقة أعلى من مقدار معين متناسب مع درجة الحرارة. في حين أنه لو كان ممكناً لأمواج الإشعاع أن تنقل طاقة صغيرة بقدر ما نريد، لما كان هناك أي شيء يحد من الكمية الكلية لإشعاع الجسم الأسود الذي أطوال موجاته قصيرة جداً[1]. وهذه النتيجة، لا تتعارض فحسب مع التجربة، بل تؤدي إلى نتيجة

---

(١) بمعنى أن كمية الإشعاع (أو شدته) يجب أن تكون كبيرة جداً لكي نحصل من جمع طاقات الموجات الصغيرة على كمية معينة من الطاقة. وهذا طبعاً هو التصور السابق، وهو الذي يؤدي إلى نتيجة غير معقولة، فكان المنحنى النظري عند درجة حرارة معينة هو على شكل قطع مكافيء لا على الشكل الجرسي الذي دلت عليه التجربة والمبين في الشكل رقم (٧). (المترجم).

هي أشبه بالكارثة، ألا وهي أن الطاقة الكلية لإشعاع الجسم الأسود يجب أن تكون لا نهائية! وقد كان المخرج الوحيد من هذه الورطة، هو الفرضية التي تقول إن الطاقة موزعة على قطع صغيرة «أو كموم»، وكل قطعة تحتوي طاقة تزداد عندما ينقص طول الموجة، بحيث أنه، عند درجة حرارة ما، يصبح الإشعاع الذي موجاته قصيرة جداً ـ ضعيفاً جداً، نظراً إلى أن الكموم الخاصة به تكون عالية الطاقة. وفي الصياغة النهائية لهذه الفرضية التي ندين بها إلى أينشتين، **تتناسب طاقة كل فوتون عكساً مع طول الموجة**. وعند كل درجة حرارة مفروضة، سيحتوي إشعاع الجسم الأسود على عدد قليل جداً من الفوتونات التي لها طاقة عالية جداً، ولها بالتالي طول موجة قصير جداً. وهذا ما يفسر لنا هبوط توزيع بلانك عند أطوال الموجات القصيرة.

ولمزيد من التحديد والوضوح نقول: إن طاقة فوتون طول موجته سنتمتر واحد هي ٠,٠٠٠١٢٤ إلكترون فولت. ومع التناسب (العكسي) تصبح هذه الطاقة أكبر مع أطوال الموجات الأصغر. والإلكترون فولت هو واحدة طاقة مناسبة جداً، إنها الطاقة التي يكتسبها إلكترون عند انتقاله مسافة يهبط فيها توتر التيار فولطاً واحداً. فمثلاً تصرف بطارية قوتها ١,٥ فولت في مصباح كهربائي عادي ١,٥ إلكترون فولت من أجل كل إلكترون تجعله يجتاز سلك الحبابة (اللمبة في العامية) (وبالواحدات المترية، يساوي الإلكترون فولت ١,٦٠٢×١٠$^{-١٢}$ إرغه، أي ١,٦٠٢×١٠$^{-١٩}$ جول). وبحسب قانون أينشتين، إن طاقة فوتون طول موجته ٧,٣٥ سنتيمتر ـ وهي الموجات التي أجرى عليها بنزياس وويلسون مشاهداتهما ـ هذه الطاقة تساوي ٠,٠٠٠١٢٤ إلكترون فولت مقسومة على ٧,٣٥، أي ٠,٠٠٠٠١٧ إلكترون فولت: أضف إلى ذلك، إن فوتوناً نموذجياً من فوتونات الضوء المرئي، له طول موجة يقرب من جزء من ٢٠٠٠٠ جزء من السنتيمتر، أي ٥×١٠$^{-٥}$سم، وطاقته تساوي بالتالي ٠,٠٠٠١٢٤ إلكترون فولت مضروبة في ٢٠٠٠٠، أي ٢,٥ إلكترون فولت. وفي سائر الأحوال، تكون طاقة الفوتون صغيرة جداً إذا ما عبر عنها بالواحدات العادية، ولهذا تبدو الفوتونات ذائبة في سيالة مستمرة من الإشعاع.

ولنلاحظ بهذه المناسبة، أن طاقة التفاعلات الكيماوية هي عامة من رتبة إلكترون فولت واحد لكل ذرة أو لكل إلكترون. فمثلاً يلزمنا إجمالاً ١٣,٦ إلكترون فولت لانتزاع الإلتكرون من ذرة هيدروجين، وهذا حدث كيماوي ذو شدة استثنائية. كما أن فوتون الضوء الشمسي له أيضاً طاقة من رتبة الإلكترون فولت، وهذه حقيقة لها أهمية حاسمة بالنسبة لحياتنا على الأرض، إذ إنها تمكن هذه الفوتونات من إحداث تفاعلات كيماوية أساسية للحياة، من ذلك مثلاً التركيب الضوئي (تحويل الفحم والهيدروجين إلى نشا بوساطة الكلوروفيل). أما طاقة التفاعلات النووية، فهي عامة من رتبة مليون إلكترون فولت لكل نواة ذرية. وهذا ما يفسر لنا لماذا كانت كل ليبرة من البلوتونيوم تحوي قدرة تفجيرية تقرب من مليون ليبرة من مادة الـ ت.ن.ت.

وتساعدنا الصورة الفوتونية للإشعاع بسهولة على فهم الخواص الكيفية الأساسية للجسم الأسود. أولاً: تقول لنا مباديء الميكانيك الإحصائي: إن طاقة فوتون نموذجي متناسبة مع درجة الحرارة، بينما تنص قاعدة أينشتين على شرط، وهو أن طول موجة كل فوتون متناسبةٌ عكساً مع طاقته. واعتماداً على هاتين القاعدتين معاً نصل إلى نتيجة، وهي أن طول موجة نموذجية[1] لفوتون من فوتونات الجسم الأسود، هي متناسبةٌ عكساً مع درجة الحرارة. وهذا يعني كمياً أن طول الموجة النموذجية التي يتمركز حولها أكبر جزء من طاقة إشعاع الجسم الأسود، هو (بحسب المعطيات النظرية والتجريبية) ٠,٢٩ سم عند درجة حرارة ١° ك. ومن أجل درجة حرارة أعلى يكون الطول أقل بحسب التناسب العكسي.

فمثلاً، يصدر جسم عاتم في درجة حرارة الجو العادية التي تبلغ حوالي ٣٠٠° ك (أي ٢٧ درجة مئوية) إشعاعاً من إشعاعات الجسم الأسود طول موجته النموذجية ٠,٢٩ سم مقسومة على ٣٠٠، أي ما يقرب من جزء من

---

(١) أي التي تكون عندها كثافة الطاقة أكبر ما يمكن. (انظر الشكل ٧).

(المترجم).

ألف من السنتيمتر. وطول الموجة هذا ينتمي إلى طائفة ما تحت الحمراء من الطيف، فهو بالتالي أكبر من أن تستطيع أعيننا إدراكه. ويصدر سطح الشمس الذي تسود فيه درجة حرارة تقرب من ٥٨٠٠° ك، إشعاعاً شدته الأعظمية تقع عند طول موجة ٠,٢٩ سم مقسومة على ٥٨٠٠° ك، أي ما يقرب من ٥ أجزاء من مئة ألف جزء من السنتيمتر (٥×١٠-٥سم)أو ٥٠٠٠ أنغستروم، (الأنغستروم هو جزء من ١٠٠ مليون جزء، أي ١٠-٨، من السنتيمتر). وكما ذكرنا فإن طول الموجة هذا، يقع في منتصف قسم الطيف الذي جعل التطور أعيننا حساسة إليه، وتدعى أطوال الموجات المحصورة في هذا المجال بأطوال الموجات (المرئية). ولما كانت أطوال هذه الأمواج قصيرة جداً، لذلك حُجبت طبيعتها التموجية عن أعين الباحثين حتى بداية القرن التاسع عشر، إذ كان عليهم أن يجعلوا الضوء يمر في فتحات صغيرة فعلاً كي يلاحظوا ظواهر مميزة لانتشار الأمواج، كظاهرة الانعراج مثلاً والتداخل.

وقد رأينا كذلك أنه يمكن تفسير تناقص طاقة إشعاع الجسم الأسود من أجل أطوال الموجات الكبيرة، بأن من الصعب إدخال إشعاع في حجمٍ أبعاده أصغر من طول موجة هذا الإشعاع. والحقيقة، إن البعد الوسطي بين فوتوني إشعاع جسم أسود، هو من رتبة طول موجة نموذجية في هذا الإشعاع. ولكن سبق أن رأينا أن طول الموجة هذا متناسب عكساً مع درجة الحرارة، بحيث أن المسافة الوسطى بين فوتونين هي كذلك متناسبة عكساً مع درجة الحرارة. ومن المعروف أن عدد الجسيمات ـ أياً كانت طبيعتها ـ المحتواة في حجم معين، متناسب عكساً مع مكعب المسافة الوسطى بين جسيمين، فمن أجل إشعاع الجسم الأسود، تكون القاعدة هي أن **عدد الفوتونات الموجودة في حجم معين متناسب مع مكعب درجة الحرارة**.

ونستطيع أن نجمع جملة هذه النتائج، لنحصل منها على نتائج تتعلق بكمية الطاقة المحتواة في إشعاع جسم أسود. إن الطاقة في اللتر الواحد، أو «كثافة الطاقة» هي ببساطة عدد الفوتونات الموجودة في لتر مضروباً في طاقة الفوتون الوسطي. وقد رأينا أن عدد الفوتونات في اللتر الواحد متناسب مع

مكعب درجة الحرارة، بينما طاقة الفوتون الوسطى متناسبة تناسباً بسيطاً مع درجة الحرارة. وعلى هذا، فإن الطاقة في اللتر الواحد المحتواة في إشعاع جسم أسود متناسبة مع مكعب درجة الحرارة مضروبة في درجة الحرارة، أي متناسبة مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة. وهذا يعني كمياً أن كثافة طاقة إشعاع جسم أسود تساوي ٤,٧٢ إلكترون فولت في اللتر الواحد عند درجة حرارة ١°ك، وتساوي ٤٧٢٠٠ إلكترون فولت في اللتر الواحد عند درجة الحرارة ١٠°ك، (وهذا ما يدعى بقانون ستيفن - بولتزمان). فإذا كانت الضجة الميلمترية التي اكتشفها بنزياس وويلسون هي فعلاً إشعاع جسم أسود درجة حرارته ٣° ك، فإن كثافة طاقته يجب أن تساوي ٤,٧٢ إلكترون فولت في اللتر الواحد مضروبة في ٣ مرفوعة إلى القوة الرابعة (٤,٧٢×٣×٣×٣×٣) أي ما يقرب من ٣٨٠ إلكترون فولت في اللتر الواحد، وعندما كانت درجة حرارة الكون أعلى بألف مرة مما هي الآن، كانت كثافة الطاقة ألف مليار (أي ١٠^١٢) مرة أكبر من الكثافة الحالية.

والآن نستطيع أن نعود إلى بدايات الإشعاع المليمتري المستحاثي. لقد رأينا أن من المفروض أنه أتى زمن كان الكون فيه حاراً وكثيفاً إلى درجة أن ذراته كانت مفككة إلى نواها وإلكتروناتها المكونة لها، وكان انتشار الفوتونات بالإلكترونات الحرة هو الذي يحافظ على التوازن الحراري بين المادة وبين الإشعاع. ومع مرور الزمن، توسع الكون وبرد، حتى بلغت حرارته في لحظة من لحظاته درجة (٣٠٠٠° ك)، وهي درجة يكفي انخفاضها لإمكان اتحاد النوى مع الإلكترونات في ذرات (تدعى هذه السيرورة عادة في أدبيات الفيزياء الفلكية «عودة إلى الاتحاد»، وهذا تعبير غير ملائم بتاتاً، لأن الإلكترونات والنوى لم تكن قط «متحدة» في ذرات قبل العصر الذي نتحدث عنه). وقد حطم اختفاء الإلكترونات الحرة المفاجيء ذلك التماس الذي كان قائماً فيما مضى بين الإشعاع وبين المادة، وظل الإشعاع يتابع انتشاره بحرية.

في هذه الآونة، كان توزع طاقة حقل الإشعاع بحسب مختلف أطوال الموجات، محكوماً بظروف التوازن الحراري، وكان بالتالي محدداً بحسب

دستور الجسم الأسود الذي وضعه بلانك من أجل درجة حرارة تساوي درجة حرارة المادة، أي ما يقرب من ٣٠٠٠° ك. ونخص من ذلك أن طول موجة فوتون نموذجي، كان يقرب من ميكرون (أي جزء من عشرة آلاف جزء من السنتيمتر، أو ١٠٠٠٠ آنغستروم) وكانت المسافة الوسطى بين فوتونين تساوي تقريباً طول الموجة هذا.

ترى ما الذي سيحدث للفوتونات منذ تلك اللحظة؟ إن الفوتونات الفردية لن تولد أو تتلاشى، وستأخذ المسافة الوسطى بين فوتونين بالتالي، بالتزايد بكل بساطة بنسبة تزايد قدر الكون، أي بنسبة تزايد المسافة بين مجرتين نموذجيتين. ولكن سبق أن رأينا في الفصل السابق، أنه نتيجة للانحراف الكوني نحو الأحمر، «يمتط» طول موجة كل شعاع ضوئي «امتطاطاً» يسير جنباً إلى جنب مع توسع الكون. وهكذا سيتزايد طول موجة كل فوتون فردي تزايداً بسيطاً مع قدر الكون، وتظل الفوتونات عندئذ متجمهرة حول طول موجة معين، أي على نحو ما يحدث للفوتونات في حالة إشعاع جسم أسود بالضبط. وبالفعل، إذا فصلنا هذا التفكير تفصيلاً كمياً، فإننا نستطيع أن نبرهن أن **الإشعاع الذي يمتلىء به الكون، سيظل ممكناً وصفه وصفاً صحيحاً** بدستور **بلانك للجسم الأسود، حتى في الوقت الذي يستمر فيه توسع الكون**،وعلى الرغم من أن الكون لم يعد في حالة توازن حراري (انظر الملحق الرياضي ٤). والنتيجة الوحيدة لتوسع الكون، هي تزايد طول موجة الفوتونات النموذجية تزايداً متناسباً مع قدر الكون. ودرجة حرارة إشعاع الجسم الأسود متناسبة تناسباً عكسياً مع طول الموجة هذا، فهي بالتالي ستتناقص خلال توسع الكون بشكل عكسي مع تزايد قدره.

فمثلاً، وجد بنزياس وويلسون أن شدة الحقل المليمتري الذي اكتشفاه توافق درجة حرارة تقرب من ٣° ك. ودرجة الحرارة هذه هي بالضبط ما كان يجب أن نتوقعه فيما لو زاد قدر الكون ١٠٠٠ مرة منذ الزمن الذي كانت فيه درجة الحرارة مرتفعة إلى حد كاف(٣٠٠٠°ك) لكي تحفظ المادة والإشعاع في حالة توازن حراري. فإذا كان هذا التأويل صحيحاً، فإن الحقل الراديوي عند

درجة ٣° ك الآتي من بعيد، هو أقدم إشارة تلقاها الفلكيون، لأنها بث قبل الضوء الذي يصلنا من أبعد المجرات التي نستطيع مشاهدتها بزمن طويل.

ولكن بنزياس وويلسون لم يقيسا شدة الحقل الراديوي الكوني إلا عند طول موجة ٧,٣٥ سم. لذلك، سرعان ما بدا أنه للبت في أمر هذا الحقل ومصدره، من المهم أن نعرف فقط هل من الممكن استخدام دستور بلانك للجسم الأسود في وصف توزع الطاقة المشعة حسب طول الموجة، إذ إن هذا ما يجب أن نتوقعه إذا كان الأمر متعلقاً فعلاً بإشعاع أثري منحرف نحو الأحمر، أي إشعاع هو من بقايا عهد كان فيه الإشعاع والمادة في حالة توازن حراري. فلو كان الأمر كذلك لكان من الضروري أن نجد أن «درجة الحرارة المكافئة» (التي تحسب من مقارنة شدة الضجة الراديوية الملاحظة مع ما يعطيه دستور بلانك)، لها قيمة واحدة لا تتغير عند سائر أطوال الموجات التي كان الطول ٧,٣٥ سم الذي لاحظه بنزياس وويلسون واحداً منها.

وكما سبق أن قلت: في الوقت نفسه الذي أنجز فيه بنزياس وويلسون اكتشافهما، بذل جهد آخر لمحاولة التحري عن خلفية كونية لإشعاع مليمتري في نيوجرسي نفسها. وبعد نشر المقالتين المتلازمتين بزمن قصير، أذاع رول وويلكينسون (من فرق مخابر بل وبرنستون) نتيجتهما الخاصة: إن درجة الحرارة المكافئة للخلفية الراديوية ذات الموجة التي طولها ٣,٢ سم محصورة بين ٢,٥° ك و ٣,٥° ك. وهذا يعني أن شدة الحقل الكوني هي، بعد أخذ هامش الخطأ التجريبي بعين الإعتبار، أكبر من تلك التي لوحظت عند طول الموجة ٧,٣٥ سم بالنسبة ذاتها التي يتوقعها دستور بلانك.

ومنذ عام ١٩٦٥ قيست شدة الإشعاع المليمتري المستحاثي من قبل فلكيين راديويين لأكثر من اثنتي عشرة موجة أطوالها محصورة بين ٧,٣٥ سم و ٠,٣٣ سم. وكان كل من هذه القياسات متفقاً مع طول الموجة في درجة الحرارة المحصورة بين ٢,٧° ك و ٣° ك.

ومع ذلك، قبل أن نستنتج أن ما أمامنا هو فعلاً إشعاع جسم أسود،

علينا أن نذكر أن طول الموجة «النموذجي» الذي يبلغ عنده توزيع بلانك نهايته العظمى هو ٠,٢٩ سم مقسوماً على درجة الحرارة مقدرة بالكلفين (وهي هنا ٣° ك)، أي ٠,١ سم. فقياسات شدة الخلفية الراديوية هذه كلها، تمت عند الجانب الذي يضم أطوال الموجات الكبيرة من توزيع بلانك. ولكن رأينا أن تزايد كثافة الطاقة الذي يرافق نقصان طول الموجة في هذا الجزء من الطيف، ناجم فحسب عن صعوبة إدخال أطوال موجات كبيرة في حجوم صغيرة، وهذه القاعدة تسري على أكثر حقول الإشعاع تنوعاً، بما في ذلك الحقول التي لم تتولد في ظروف التوازن الحراري. (ويدعو الفلكيون الراديويون هذا الجزء من الطيف منطقة رايلي ـ جينز، لأن أول من درسه هو اللورد رايلي والسير جيمس جينز). وقبل أن نتحقق أننا نشاهد فعلاً إشعاع جسم أسود، علينا أن نذهب إلى أبعد من النهاية العظمى لتوزيع بلانك، أي (إلى الجانب الآخر من الطيف) أو مناطق أطوال الموجات القصيرة[1]: وأن نتأكد أن شدة الطاقة تتناقص حقاً على النحو الذي تتنبأ به النظرية الكوانتية. ولكن أطوال الموجات الأقل من ٠,١ سم تصبح كلياً خارج مجال الفلكيين المختصين بأمواج الراديو أو الأمواج المليمترية. إذ ندخل عندئذ في ميدان فرع علمي جديد كل الجدة، وهو الفلك المعتمد على الأشعة تحت الحمراء.

ولكن جونا الأرضي الذي يكاد يكون شفافاً أمام الأشعة التي أطوال موجاتها أكبر من ٠,٣ سم، يصبح للأسف أكثر حجباً للأشعة كلما اتجهت أطوال موجاتها نحو الأقصر. ويبدو أنه من غير المحتمل أبداً إمكان قياس الخلفية الكونية للإشعاعات التي أطوال موجاتها أقل من ٠,٣ سم باستخدام مرصد راديوي أرضي، بل وحتى باستخدام مرصد على ارتفاعات عالية.

ولكن الأمر الغريب، هو أن الخلفية الكونية قد قيست فعلاً من أجل أطوال الموجات القصيرة، وكان ذلك قبل الأبحاث الفلكية التي تحدثنا عنها حتى الآن في هذا الفصل، وقد قام بهذا القياس فلكي مختص في مجال

---

(١) أي الجانب الأيسر من المنحنى في الشكل ٧.

البصريات لا في مجال الأشعة الراديوية أو تحت الحمراء! فمن المعروف أن في كوكبة الأوفيوشوس (حامل الأفعى) غيمة من الغاز بين النجمي تمتد بين الأرض وبين نجم تزيتا أو فيوشي. والخاصة الوحيدة الملفتة للنظر في هذا النجم هي كونه حاراً على نحو فريد، ويقطع طيفه عددٌ من الخطوط المعتمة التي تشير إلى أن الغاز المعني يمتص الضوء عند أطوال موجات معينة. وهذه الأطوال هي التي يكون للفوتونات من أجلها طاقة، هي بالتحديد، الطاقة اللازمة لتحريض جزيئات الغيمة بين النجمية على أن تقوم بانتقالات من حالات طاقتها المنخفضة إلى حالات طاقتها المرتفعة (ذلك لأن الذرات والجزيئات لا توجد إلا في حالات طاقة محددة مُكْمَمَة). فاعتماداً على قياس أطوال الموجات التي توجد عندها الخطوط المعتمة، يمكن أن نستنتج بعض المعلومات عن طبيعة هذه الجزيئات وعن الحالات التي يمكن أن توجد فيها.

إن أحد خطوط طيف الامتصاص في طيف تزيتا أو فيوشي يقع عند طول موجة قدره ٣٨٧٥ آنغستروم (٣٨,٧٥×١٠^-٥ سم)، وهذا يشير إلى أن في الغيمة بين النجمية جزيئات CN (السيانوجين) التي يتألف كل منها من ذرة فحم وذرة آزوت. (وكان الأجدر بنا أن نقول «الجذر» CN، لأن هذا الجزيء سرعان ما يتحد في الظروف العادية مع ذرات أخرى ليكون جزيئات أكثر استقراراً، من ذلك مثلاً السم الشهير الذي يعرف باسم حمض سيانور الماء HCN. ولكن الجذر CN في الفضاء بين النجمي مستقر إلى الحد الكافي). والحقيقة أن و. س. أدامز W. S. Adams و ا. م. كيلر A. Mc Kellar اكتشفا عام ١٩٤١ أن خط الامتصاص مشطور إلى خطوط، وأنه يتألف من ثلاث مركبات أطوال موجاتها ٣٨٧٤,٦٠٨ آنغستروم، ٣٨٧٥,٧٦٣ آنغستروم ، ٣٨٧٣,٩٩٨ آنغستروم. وأول واحد بين أطوال موجات الامتصاص هذه، يرجع إلى انتقال السيانوجين من أخفض سوية للطاقة (الحالة «الأساسية») إلى الحالة الاهتزازية. وهذا انتقال لا بد أن يتم حتى ولو كان السيانوجين في درجة حرارة مساوية للصفر المطلق. ومع ذلك فإن الخطين الآخرين لا يمكن أن يحدثا إلا بانتقالات يمر فيها السيانوجين من

حالة دوران طاقتها أعلى مباشرة من طاقة الحالة الأساسية، إلى مختلف حالات الاهتزاز. إذن لا بد أن جزءاً لا بأس به من جزيئات السيانوجين الموجودة في الغيمة بين النجمية، هي في حالة دوران. وباستخدام فرق الطاقة المعروف بين الحالة الأساسية وبين حالة الدوران، والشدات الملاحظة المتعلقة بمختلف خطوط الامتصاص، أصبح بإمكان ماك كيلر، أن يقدر أن السيانوجين كان يعاني اضطراباً من نوع منا درجة حرارته الفعلية هي ٢,٣ ك، ويمكن أن يرفع جزيء السيانوجين إلى حالة الدوران.

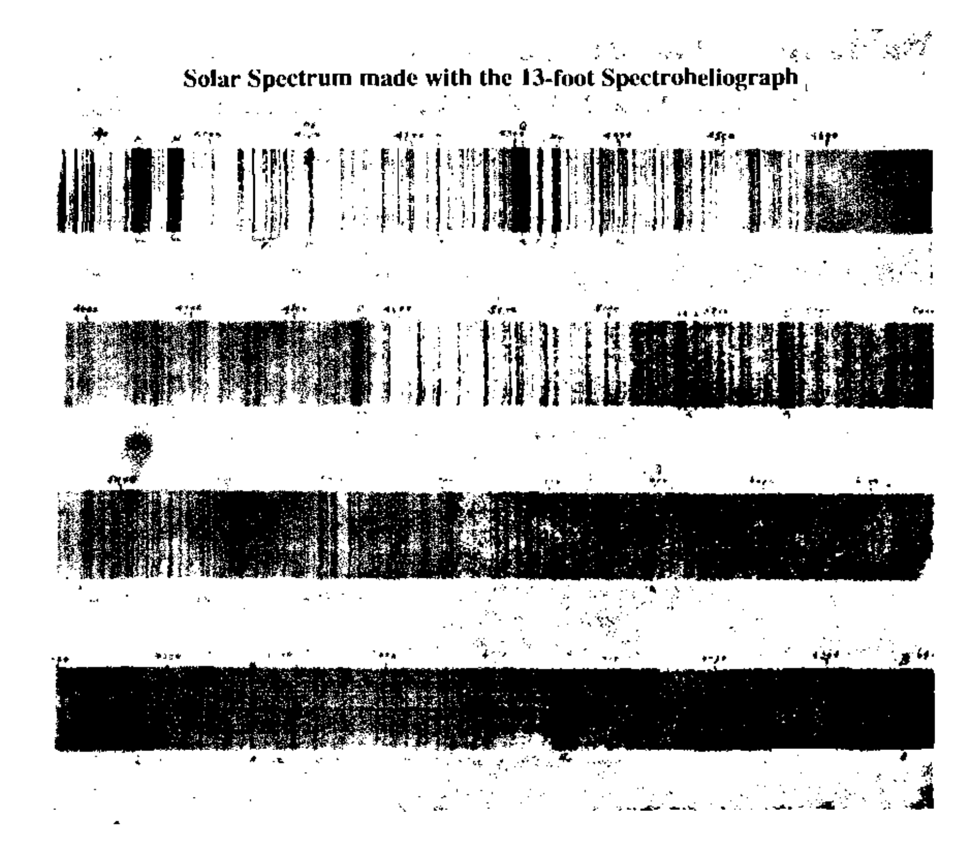
في ذلك الوقت (١٩٤١) لم يكن ثمة سبب مرئي لأن يقرنوا هذا الاضطراب الغريب مع بدايات الكون. ولكن بعد اكتشاف خلفية الإشعاع الكوني ذات الدرجة ٣° ك في عام ١٩٦٥، تحققوا (والفضل يعود إلى جورج فيلد، وي. س. شلوفسكي I.S. Shklowsky، و ن. ج. وولف N.J. Woolf) أن هذا الإشعاع يولد بالضبط هذا الاضطراب الذي لوحظ في عام ١٩٤١ والذي يحدث دوران جزيئات السيانوجين في غيوم أوفيوشوس (أو حامل الأفعى). إن طول موجة فوتونات الجسم الأسود اللازمة لإحداث هذا المفعول هو ٠,٢٦٣ سم، وهذا طول موجة أقصر من جميع أطوال الموجات التي يمكن ملاحظتها بالتلسكوب الراديوي الأرضي. ولكنه لا يكفي مع ذلك لأن نتمكن من اختبار الهبوط السريع المنتظر في توزيع بلانك (بدءاً من طول الموجة ٠,١ سم فما دون) في درجة الحرارة ٣° ك.

ومنذ ذلك الحين، نشطت بعض الأبحاث حول خطوط طيف امتصاص أخرى ناشئة عن استثارة حالات دوران أخرى للسيانوجين أو لجزيئات أخرى. وقد أتاحت أرصاد عام ١٩٧٤ للامتصاص الناشيء عن الحالة الثانية لدوران السيانوجين بين النجمي، تقدير شدة الإشعاع عند طول الموجة ٠,١٣٢ سم، فكانت متفقة أيضاً مع درجة الحرارة ٣° ك. ولكن مثل هذه المشاهدات من أجل أطوال موجات أدنى من ٠,١سم، لم تحدَّد حتى الآن سوى حد أعلى لكثافة طاقة الإشعاع. وهذه النتائج مشجعة لأنها تشير إلى أن كثافة طاقة الخلفية الكونية قد بدأت فعلاً بالتناقص بسرعة بدءاً من طول موجة قريب من

١ , ٠ سم، أي على نحو ما تتنبأ به نظرية الجسم الأسود. إلا أن هذه الحدود العليا ما زالت (غير كافية) لأن تسمح لنا بالتحقق من أننا نلاحظ فعلاً إشعاع جسم أسود، أو أن نستطيع تحديد درجة حراة لها بدقة.

فلكي ينجحوا في تصديهم لهذه المسألة، كان لا بد لهم من أن يرسلوا مستقبلاً للأشعة تحت الحمراء إلى منطقة أعلى من الجو الأرضي، وذلك على متن بالون سابر أو صاروخ. ولكن هذه التجارب صعبة التحقيق، ولم تعط في باديء الأمر سوى نتائج مفككة، فتارة تلائم القائلين بالكوسمولوجية القياسية (نظرية الانفجار الكبير)، وتارة تلائم خصومهم. وقد وجدت فئة من جامعة كورنيل (كانت قد استعانت بصاروخ) إشعاعات ذات أطوال موجات قصيرة، وأقصر جداً مما يتوقع في حالة جسم أسود. في حين أن فئة أخرى من MIT (معهد ماساتشوستس للتكنولوجية)، كانت قد استعانت ببالون، فحصلت على نتائج قريبة من التنبؤات النظرية. وتابعت الفئتان أعمالهما وأعلنتا كلتاهما في نهاية العام ١٩٧٢ تقريباً، نتائج تشير إلى توزيع جسم أسود له درجة حرارة ٣° ك. وأكدت أعمال فئة من بركلي (بالبالون) أن كثافة طاقة الإشعاع تستمر بالهبوط من أجل أطوال الموجات القصيرة المحصورة بين ٢٥ , ٠ سم و ٠٦ , ٠، وعلى نحو ما هو متوقع من أجل درجة حرارة محصورة بين ١ , ٠° ك و ٣° ك. ويبدو الآن بحكم المؤكد أن خلفية الإشعاع الكوني هي فعلاً إشعاع جسم أسود درجة حرارته ٣° ك.

وربما يتساءل القاريء، لماذا لم يتسن إثبات هذه النتيجة، باللجوء بكل بساطة إلى تركيب جهاز أشعة تحت الحمراء في تابع صنعي، إذ يوضع هذا التابع في مدار حول الأرض ليكون لديه كل الوقت اللازم لإنجاز قياسات دقيقة بعيداً عن الجو الأرضي؟ أنا من جهتي لا أعرف حقاً لماذا استحال ذلك. ولكنهم يفسرون صعوبة العمل عادة، بأنه لقياس درجة حرارة إشعاع على مثل هذا الانخفاض (٣° ك)، يجب تبريد جهاز القياس بالهيليوم السائل، وأنه ليس في حوزتهم اليوم تكنولوجية تساعد على نقل هذا النوع من تجهيزات درجة الحرارة المنخفضة على متن قمر صنعي. ومع ذلك لا يمكن



طيف الشمس: تظهر هذه الكليشة ضوء الشمس عند تفريقه إلى مختلف أطوال موجاته بواسطة مطياف ذي بعد محرقي ١٣ قدماً. الشدة وسطياً عند مختلف أطوال الموجات هي تقريباً نفس الشدة التي يصدرها جسم عاتم تماماً (أو جسم أسود) عند درجة الحرارة ٥٨٠٠ ك. ومع ذلك فإن الخطوط العمودية القائمة (خطوط فرانهوفر) المرئية على الطيف تشير إلى أن الضوء الصادر عن سطح الشمس قد امتصته منطقة خارجية باردة نسبياً وشفافة، وهي تدعى الطبقة العاكسة. وكل خط ينشأ عن امتصاص اصطفائي للضوء عند طول موجة معين. وكلما كان هذا الخط قاتماً، كان الامتصاص أشد. لقدكُتِبَت إلى أطوال الموجات فوق الطيف، وهي مقدرة بالأنغستروم (١٠^-٨ سم). والكثير من هذه الخطوط معروف لكونها تنشأ عن امتصاص عناصر معينة للضوء، كالكالسيوم Ca مثلاً والحديد (Fe)، والهيدروجين (H)، والمغنيزيوم (Mg)، والصوديوم (Na). وبفضل دراسة خطوط الامتصاص هذه، إلى جانب أمور أخرى، يمكن أن نقدر مدى وفرة مختلف العناصر الكيماوية في الكون. ونلاحظ انحرافاً لخطوط الطيف هذه ذاتها، في المجرات البعيدة، نحو أطوال الموجات الأكبر بالنسبة إلى وضعها المألوف. واعتماداً على هذا الانحراف نحو الأحمر، توصلوا إلى أن الكون يتوسع (كليشه من مراصد هال).

أن نمتنع عن التساؤل، لماذا لا تكون أبحاث لها مثل هذا الشمول الكوني، جديرة بأن يخصص لها جزء أكبر من الميزانية الفضائية.

وتتضح ضرورة القيام بأرصاد فوق الجو الأرضي، بوجه خاص، عندما نهتم بتوزع خلفية الإشعاع الكونية حسب الاتجاه كما هو الأمر حسب طول الموجة. فحتى الآن، تؤكد سائر الأرصاد المنجزة، أن توزع خلفية الإشعاع، هو توزع متماثل المناحي تماماً (بمعنى أنه مستقل عن الاتجاه). وفي ذلك، كما ذكرت في الفصل السابق، حجة هي من أقوى الحجج التي تؤيد المبدأ الكوسمولوجي. إلا أنه من الصعب أن نميز ارتباطاً مع الاتجاه قد يكون أصيلاً في خلفية الإشعاع، من ارتباط نلاحظه ببساطة بسبب التأثيرات التي يولدها الجو الأرضي. إذ إننا عند قياسنا لخلفية الإشعاع، نميز هذه الأخيرة من الإشعاع الأرضي، بأن نفترضها متماثلة المناحي.

والأمر الذي يجعل من علاقة خلفية الإشعاع الميليمتري مع الاتجاه موضوعاً لدراسة مشوقة، هو أن شدة هذا الإشعاع يجب ألا تكون متماثلة المناحي تماماً. فقد تحدث تقلبات في الشدة، تصحبها تغيرات صغيرة في هذا الاتجاه أو ذاك، وهذه التقلبات تنشأ عن الطبيعة «الحبيبية» للكون لحظة بث الإشعاع أو منذ ذلك الحين. فالمجرات مثلاً، في المرحلة الأولى من تشكلها، كان من الجائز لها أن تبدو في السماء كنقاط حارة، درجة حرارتها أعلى قليلاً من درجة حرارة الجسم الأسود، وأبعادها الزاوية ربما كانت تتجاوز نصف دقيقة قوسية (أبعادها الزاوية الحالية كما تبدو من الأرض لا يمكن أن تبلغ هذه القيمة)[1]. أضف إلى ذلك أنه من شبه المؤكد أن هناك تغيراً صغيراً مستمراً في شدة الإشعاع على السماء كلها، وسبب هذا التغير هو حركة الأرض بالنسبة إلى بقية الكون. إذ إن الأرض تدور حول الشمس بسرعة ٣٠

---

(١) بمعنى أن أقطارها الظاهرية كانت أكبر مما هي الآن، وهذا طبيعي لأنها كانت أقرب وأكثر اتساعاً

(المترجم).

كم في الثانية، والمجموعة الشمسة تنقاد مع مجرتنا في دورانها بسـرعة تقـرب من ٢٥٠ كم في الثانية. كما أنه، لا أحد يعرف بدقة ما سرعة مجرتنا بالنسبـة إلى تـوزع المجرات النمـوذجية في الكـون، ولكن يحتمل أنهـا تنتقل بسـرعة بضع مئات الكيلومترات في الثانيـة، في هذا الاتجـاه أو ذاك. فلو فرضنـا مثلاً أن الأرض تنتقل بسرعة ٣٠٠ كم في الثانية بالنسبة إلى التوزع الكوني للمادة، وبالتالي بالنسبة إلى الخلفية الكونية، فإن طول موجة الإشعاع الـواصل عنـدئذ نحو الأرض من أمام حـركتها أو من خلفهـا، يجب أن يزيـد، أو على الترتيب ينقص، بنسبـة ٣٠٠ كم في الثـانيـة إلى سـرعـة الضـوء، أي ١,٠ ٪. وعلى هذا، فإن درجة الحرارة المكافئة للإشعاع، يجب أن تتغيـر باستمـرار مع تغيـر الاتجاه، بنسبة أعلاها وسطياً ١,٠ ٪ في اتجاه حركة الأرض، وأدناها وسطياً، النسبة ذاتها في الاتجاه المعاكس. وفي السنـوات القليلة الماضيـة كان أفضـل حد أعلى لمجموعة تغيرات درجة الحرارة المكـافئة لـلإشعاع مـع الاتجاه هـو بالضبط قريباً من ١,٠ ٪. وهكذا نجد أنفسنا في ذلك الموقف القـاسي الذي نستطيع فيه تقريباً ـ وليس تماماً ـ أن نقيس سرعـة الأرض بالنسبـة إلى الكون. وقـد يكون مستحيـلاً أن نبت في هـذه المسـألـة، قبـل أن يتمكنـوا من إجـراء قيـاسات من على تـوابع تـوضع على مـدار أرضي (وقد أرسـل لي جون ماذر John Mather من وكالة الفضـاء الأميركيـة NASA أول عدد من نشـرة التابـع الصنعي «مستكشف الخلفيـة الكـونيـة»: Cosmic Back Ground Explorer News Letter وفيهـا يعلن عن لقـاء فـريق من ستـة علمـاء، كـان منهم راينيـر ويس Ranier Weiss من معهد ماساتشوستس، وذلك لدراسة إمكان قيـاس خلفيات الإشعـاعات مـا تحت الحمراء والميليمتـرية من الفضـاء مباشـرة (فتمنى لهم سفراً سعيداً موفقاً Bon Voyage).

كنا قد أشرنا إلى أن الخلفية الكونية للإشعاع المليمتري، تعـطينا دليـلاً على أن الإشعاع والمادة كانا في عهد من العهود في حـالة تـوازن. إلا أننا لم نستخلص بعد كل النتائج الكـوسمولـوجية المتـرتبة على قيـاس درجة الحـرارة

٣° ك المكافئة لخلفية الإشعاع هذه. إذ إن درجة الحرارة هذه، تساعدنا على تحديد العدد الأساسي الذي نحتاجه لتتبع تاريخ الكون في دقائقه الثلاث الأولى.

لقد رأينا أن عدد الفوتونات في واحدة الحجوم عند كل درجة حرارة، متناسب عكساً مع مكعب طول الموجة النموذجية للإشعاع، ومتناسب بالتالي طرداً مع مكعب درجة الحرارة. ومن أجل درجة حرارة مساوية بالضبط لـ ١° ك، سيوجد (حسب المعطيات النظرية والتجريبية) ٢٠٢٨٢,٩ فوتون في كل لتر، فخلفية الإشعاع عند ٣° ك تحتوي بالتالي على ما يقرب من ٥٥٠٠٠٠ فوتون في اللتر (أي ٣^{٣}=٢٧ مرة، أكبر). ولكن كثافة الجسيمات النووية (النوترونات والبروتونات) في الكون الحالي، محصورة بين ٦ و٠,٠٣ جسيم في ألف ليتر. (الحد الأعلى ٦ هو ضعف الكثافة الحرجة التي تحدثنا عنها في الفصل الثاني، والحد الأدنى هو تقدير ينقص عن الكثافة الفعلية الملاحظة في المجرات المرئية). وهكذا، فإن في الكون حالياً، وحسب القيمة الحقيقية لكثافة الجسيمات، ما بين ١٠٠ مليون و٢٠ مليار فوتون مقابل كل جسيم نووي.

هذا، ومن جهة أخرى، فإن هذه النسبة الساحقة في عدد الفوتونات، ظلت ثابتة تقريباً خلال فترة طويلة جداً. وفي فترة التوسع الحر للإشعاع (أي منذ أن هبطت درجة الحرارة إلى ما تحت ٣٠٠٠° ك تقريباً)، لم يطرأ على خلفية الفوتونات والجسيمات عمليات خلق وإفناء، بحيث كان طبيعياً أن تظل نسبتهما ثابتة. وسنرى في الفصل التالي أن هذه النسبة كانت ثابتة تقريباً حتى قبل هذه اللحظة، أي عندما كانت هناك فوتونات فردية تخلق وتفنى فعلاً.

وهذه النتيجة الكمية، هي النتيجة الأهم التي يمكن الوصول إليها من القياسات التي تمت حول خلفية الإشعاع المليمتري ـ ومهما توغلنا بعيداً في تاريخ بداية الكون، فإننا سنجد أنه كان هناك ما بين ١٠٠ مليون و ٢٠ مليار فوتون أمام كل نوترون أو بروتون. ولكي لا نبقى مكتوفي الأيدي أمام هذا الهامش العريض غير الدقيق (١٠٠ مليون ـ ٢٠ مليار) لذا سنبسِّط هذا العدد

فيما يلي، وسنفترض، رغبة في إبراز الغرض والقصد، أن هناك، بل وأنه كان هناك بالضبط، مليار فوتون وسطياً مقابل كل جسيم نووي في الكون.

ونخلص من هذه النتيجة إلى نتيجة أخرى هامة جداً، وهي أن توزع المادة ما بين مجرات ونجوم، لم يكن ممكناً قبل أن تصبح درجة حرارة الكون منخفضة انخفاضاً يكفي لأن تتمكن الذرات من أسر الإلكترونات. ولكي تتمكن الثقالة من إحداث تجمع في المادة على هيئة جزر معزولة، كان لا بد لها - كما توقع نيوتن - من أن تغدو قادرة على قهر ضغط المادة والإشعاع. ولكن قوة الثقالة، نتيجة لتأثيرها في كل تجمهر للمادة المتولدة، تزداد مع تزايد كمية المادة! في حين أن الضغط لا علاقة له بهذه الكمية. فكل قيمة معطاة للكثافة وقيمة معطاة للضغط، تناسبهما إذاً كتلة أصغرية يمكن معها للثقالة أن تشكل تجمهراً للمادة. وهذه الكتلة هي ما يدعى «كتلة جينز»، لأن أول من أدخلها في نظريات تشكل النجوم هو السير جيمس جينز عام ١٩٠٢. وقد تبين أن كتلة جينز متناسبة مع القوة التي رتبتها $\frac{٣}{٢}$ للضغط (انظر الملحق الرياضي ٥). وقبل أن تبدأ الذرات بأسر الإلكترونات مباشرة - في درجة حرارة تبلغ ٣٠٠٠ كلفن - كان ضغط الإشعاع عظيماً، وكانت كتلة جينز بالتالي كذلك كبيرة جداً (تبلغ تقريباً مئة ألف مرة من كتلة مجرة كبيرة). فلا المجرات، ولا حتى أكوام المجرات، كانت على مثل هذا القدر، لكي يتاح تماسكها وتشكلها في ذلك العهد. ومع ذلك، تجمعت بعد ذلك بزمن قصير، الإلكترونات مع النوى، لتشكل الذرات. ومع اختفاء الإلكترونات الحرة، أصبح الكون شفافاً أمام الإشعاع، وتوقف ضغط هذا الأخير (الإشعاع) عن التأثير في المادة. ومن أجل قيمة معينة لدرجة الحرارة وقيمة معينة للكثافة، يكون ضغط المادة وضغط الإشعاع متناسبين مع عدد الجسيمات وعدد الفوتونات على الترتيب. فعندما أصبح ضغط الإشعاع غير فعال، نقص الضغط الكلي المجدي إذاً بنسبة مليار مرة تقريباً. فكتلة جينز نقصت بنسبة القوة $\frac{٣}{٢}$ لهذه النسبة، إلى أن هبطت إلى قيمة تساوي جزءاً من مليون جزء من كتلة المجرة. ومنذ تلك اللحظة، غدا ضغط المادة وحده أضعف من أن

يقاوم التجمع، فكان هذا التجمع هو نقطة البدء لتشكل المجرات التي نراها في السماء.

هذا لا يعني أننا نفهم حقاً سيرورة تشكل المجرات. إذ إن نظرية تشكل المجرات هي إحدى مسائل الفيزياء الفلكية التي ظلت معلقة، إنها مسألة لا تزال إلى اليوم تبدو بعيدة عن الحل. ولكن هذه قصة أخرى. أما بالنسبة لنا، فإن الحقيقة الهامة، هي أنه في بداية الكون وعند درجة حرارة أعلى من ٣٠٠٠° ك تقريباً، لم يكن ثمة مجرات ولا نجوم كالتي نراها اليوم، بل حساء متأين غير متمايز من المادة والإشعاع.

وهناك نتيجة هامة أخرى تأتي من عِظَمَ النسبة فوتونات ـ جسيمات نووية، وهي أنه لا بد قد مر عهد بعيد نسبياً كانت فيه طاقة الإشعاع أكبر من الطاقة المحتواة في مادة الكون. وطاقة كتلة الجسيم النووي تعطى من دستور أينشتين $E=mc^2$، فهي تساوي ما يقرب من ٩٣٩ مليون إلكترون ـ فولت. وطاقة الفوتون الواحد الوسطى في درجة الحرارة ٣° ك، هي أقل كثيراً من هذه القيمة ـ تقريباً ٠,٠٠٠٧ إلكترون فولت ـ بحيث أنه، حتى مع وجود مليار فوتون أمام كل بروتون أو نوترون، فإن القسم الأعظم من الطاقة المحتواة حالياً في الكون يوجد على شكل مادة، وليس على شكل إشعاع. إلا أن درجة الحرارة في الأزمنة الأولى، كانت أعلى كثيراً، وكانت طاقة كل فوتون بالتالي أكبر، في حين أن طاقة كتلة البروتون أو النوترون، هي مثلما هي عليه الآن. ففي حالة مليار فوتون أمام كل جسيم نووي، يكفي أن تكون طاقة كل فوتون أعلى من جزء من مليار جزء من طاقة كتلة جسيم نووي واحد (أي يكفي أن تساوي تقريباً إلكترون فولت واحد) لكي تكون طاقة الإشعاع أعلى من طاقة المادة. وهذه هي الحالة التي كانت قائمة عندما كانت درجة الحرارة أعلى بـ ١٣٠٠ مرة تقريباً من الحرارة الحالية (أي كانت حوالي ٤٠٠٠° ك). ودرجة الحرارة هذه، تشير إلى الانتقال من عصر «طغيان الإشعاع»، حيث كان القسم الأعظم من الطاقة الكونية على شكل إشعاع، إلى العصر الحالي، عصر «طغيان المادة» الذي فيه القسم الأعظم من الطاقة كامن في كتلة الجسيمات الأولية.

والأمر الملفت للنظر، هو أن الانتقال من كون يطغى فيه الإشعاع، إلى كون تطغى فيه المادة، قد تم تقريباً في اللحظة ذاتها التي أصبح فيها محتوى الكون شفافاً أمام الإشعاع في درجة حرارة تقرب من ٣٠٠٠° ك. ولا أحد يعرف لماذا كان ذلك ضرورياً. على الرغم من أن فرضيات هامة قدمت لتفسير هذا الأمر. ولا نعرف إطلاقاً، معرفة حقيقية، أي الانتقالين حدث الأول، فلو كان ثمة ١٠ مليارات فوتون أمام كل جسيم حالياً، لاستمر عندئذ طغيان الإشعاع على المادة إلى الوقت الذي تهبط فيه درجة الحرارة إلى ٤٠٠° ك، أي بعد أن يصبح محتوى الكون شفافاً بزمن طويل.

إن هذه الشكوك ليس لها شأن يذكر في وجهة بحثنا عن تاريخ بدء الكون. إذ إن العنصر الهام بالنسبة لنا، هو أننا نستطيع أن ننظر إلى الكون، وقبل أن يصبح شفافاً بزمن طويل، على أنه كان مكوناً بشكل رئيسي من الإشعاع، مع وجود «طفح» بسيط وحسب من المادة. وكثافة طاقة الإشعاع الهائلة في بداية الكون، اختفت مع انحراف أطوال موجات الفوتونات نحو الأحمر الذي رافق توسع الكون، وترك الفرصة لطفح من الجسيمات النووية والإلكترونات أن تتزايد وتنمو على شكل نجوم وصخور وكائنات حية، وهي ما نراه اليوم في كوننا الحالي.

الفصل الرابع

وصفة لكون حار

تبين لنا من المشاهدات التي شرحناها في الفصلين السابقين، أن الكون آخذ في الاتساع، وأنه مليء بخلفية إشعاع كوني درجة حرارته الحالية ٣° ك تقريباً. ويبدو أن هذا الإشعاع هو الأثر الباقي من عهد كان فيه الكون عاتماً يحجب الأشعة حجباً حقيقياً، وأنه كان آنذاك أصغر وأشد حرارة ألف مرة مما هو الآن (وكما اعتدنا، فإن قولنا أصغر ألف مرة مما هو الآن يعني أن المسافة بين جسيمين نموذجيين كانت أصغر ألف مرة مما هي الآن). ولكي نختم تمهيدنا لدراسة الدقائق الثلاث الأولى، علينا أن ننظر خلفنا إلى أبعد مما نظرنا حتى الآن، أي إلى الوقت الذي كان فيه الكون أصغر وأشد حرارة من ذلك، وسنستعين من أجل ذلك برؤية نظرية أكثر مما نستعين برؤية المراقب البصرية أو بمراصد الراديو.

وقد أشرنا في نهاية الفصل السابق إلى أن الكون حين كان أصغر ألف مرة مما هو الآن، كان محتواه المادي آنذاك على وشك أن يصبح شفافاً أمام الإشعاع، وأنه كان يمر في الوقت نفسه من عصر طغيان الإشعاع إلى عصر طغيان المادة. وفي العصر الأول، لم يكن عدد الفوتونات الهائل في مقابل كل جسيم هو العدد الحالي وحسب، بل كانت طاقة الفوتونات الفردية مرتفعة إلى حد يكفي لأن يجعل القسم الأعظم من طاقة الكون، موجودة على شكل إشعاعي لا على شكل مادي. (ولنذكر أن الفوتونات هي الجسيمات أو الكموم التي لا كتلة لها، والتي يتألف منها الضوء حسب نظرية الكم). وعلى هذا فإن

باستطاعتنا أن نحصل على تقريب جيد إذا نحن نظرنا إلى الكون في هذه الفترة على أنه لا يحوي سوى الإشعاع وأهملنا وجود المادة.

ولكن علينا أن نوضح أمراً هاماً بشأن هذا الاستنتاج، إذ إننا سنرى في هذا الفصل، أن عصر الإشعاع الصرف للكون لم يبدأ في حقيقة الأمر إلا في نهاية الدقائق المعدودة الأولى، وذلك عندما هبطت درجة الحرارة إلى ما دون بضع مليارات من درجات كلفن. وقبل هذه اللحظة كانت المادة تلعب دوراً هاماً، ولكنها كانت مادة تختلف طبيعتها جداً عن مادة كوننا الحالي. ومع ذلك، وقبل أن نغوص بعيداً في الماضي السحيق، لننظر في أمر عصر الإشعاع الحقيقي الذي بدأ في نهاية الدقائق الأولى، والذي انتهى بعد بضع مئات الألوف من السنين عندما أصبحت المادة من جديد أكبر شأناً من الإشعاع.

ولكي نقدر على متابعة مجريات تاريخ الكون في أثناء هذه الفترة، يكفي أن نعرف درجة حرارته في كل لحظة. أو بقول آخر، أن نعرف ما العلاقة القائمة بين درجة حرارة الكون وبين قدره في أثناء توسعه؟

هذا السؤال تسهل الإجابة عنه إذا استطعنا أن نفترض أن توسع الإشعاع قد سار حراً (دون عائق)، إذ إن طول موجة كل فوتون سيزداد عند ذلك تزايداً بسيطاً متناسباً مع قدر الكون. هذا، ومن جهة أخرى، فقد رأينا في الفصل السابق أن طول الموجة الوسطي في إشعاع الجسم الأسود، متناسب عكساً مع درجة حرارته. وعلى هذا فإن درجة حرارة الكون ستهبط (في هذا الاعتبار) بتناسب عكسي مع تزايد قدر الكون، أي بالضبط كما يحدث حالياً.

ولحسن الحظ أن هذه العلاقة البسيطة ذاتها هي عند المنظرين في الكوسمولوجية سارية أيضاً حتى عندما يأخذون في حسابهم حقيقة أن توسع الأشعة لم يكن حراً. بمعنى أن اصطدام الفوتونات مع عدد صغير نسبياً من الإلكترونات الحرة والجسيمات النووية، كان يجعل محتوى الكون عاتماً

خلال العصر الذي كان يسود فيه الإشعاع. وخلال سير الفوتون سيراً حراً بين اصطدامين، كان طول موجته يزداد تزايداً مناسباً لقدر الكون، وكان هناك قدر هائل من الفوتونات مقابل كل جسم، بحيث أن اصطدامها مع الجسيمات كان يقتصر تأثيرها على جعل المادة تساير الإشعاع في درجة حرارته وليس العكس. وعلى هذا، عندما كان الكون مثلاً أصغر بـ ١٠٠٠٠ مرة مما هو الآن، كانت درجة الحرارة أعلى بالنسبة ذاتها، أي أنها كانت تقارب ٣×١٠٠٠٠=٣٠٠٠٠ درجة كلفن.

ثم إننا عندما نتوغل أكثر فأكثر في الماضي البعيد، نصل إلى زمن كانت درجة الحرارة فيه مرتفعة، بحيث أن الاصطدامات بين الفوتونات كان ممكناً لها أن تولِّد من الطاقة الصرفة جسيمات مادية. وسنرى أن الجسيمات المتولدة على هذا النحو، أي من طاقة إشعاعية صرفة، كان لها دور مماثل تماماً في أهميته لدور الإشعاع خلال الدقائق المعدودة الأولى، سواء أفي تحديد نسب التفاعلات النووية المختلفة، أم في تحديد سرعة توسع الكون نفسه. فلكي نتمكن من متابعة مجريات الحوادث في لحظات الكون الأولى متابعة كاملة، علينا أن نعرف إذاً درجة الحرارة اللازمة لكي يتم توليد عدد كبير من الجسيمات المادية من طاقة الإشعاع، وأن نعرف أيضاً هذا العدد ذاته.

والتمثيل الكمومي للضوء هو خير ما يساعد على فهم سيرورة تولد مادة من الإشعاع، إذ يمكن لكمّين من الإشعاع أو فوتونين أن يصطدم أحدهما بالآخر، وأن «يتفانيا»، فتدخل طاقتهما كلها واندفاعهما كله في توليد جسيمين ماديين أو أكثر. (نشاهد اليوم فعلاً هذه العملية بطريقة غير مباشرة في مخابر الفيزياء النووية الحديثة التي طاقتها عالية جداً). إلا أن نظرية النسبية الخاصة التي أتى بها أينشتين، تظهر أن كل جسيم مادي يملك، حتى ولو كان في وضع السكون، «طاقة سكون»تعطى بالدستور الشهير $E=mc^2$ (E الطاقة، m كتلة السكون للجسيم، c سرعة الضوء. وهذه الطاقة هي مصدر الطاقة المحررة في أثناء تفاعل نووي. ففي هذا التفاعل يفنى جزء من كتلة النواتين الذريتين أو بالأحرى يتحول إلى طاقة بحتة). وعلى هذا، لكي يتمكن

فـوتونان ـ اصطدم أحـدهما بـالآخر اصـطداماً مجـابهاً ـ من تـوليد جسيمين مـاديين كتلة كل منهمـا m، يجب أن يمتلكا طـاقة تسـاوي على الأقل «طـاقـة السكون» mc^2 لكل جسيم. ويمكن أن يتم التفاعل إذا كانت طاقـة كل فـوتون أكبـر من mc^2، إذ إن الطاقـة الفائضـة تصرف في إعـطاء الجسيمين المـاديين المتولدين سرعة عالية. ولكن لا يمكن أن يتولد جسيمان كتلة كل منهما m من اصطدام فوتونين طاقتهما أقل من mc^2، لأن الطاقة عندئذ لا تكفي لتـوليد كتلة هذين الجسيمين.

لكي نحدد جدوى الإشعاع في توليد جسيمات مـادية، لا بـد لنا من أن نعـرف طبعاً الـطاقة المميـزة للفوتـونات الفـردية في حقـل الإشعاع. وقـاعـدة الحساب التي تساعد على تقدير هذه الطاقة بدقة كافية هي قـاعدة بسيـطة، إذ يكفي لإيجاد الطاقة المميزة لفـوتون واحـد، أن نضرب درجـة حرارة الإشعـاع بثابت الميكانيك الإحصائي الأساسي الذي يسمى ثابت بولتـزمان Boltzmann (لودفيغ بولتزمان هو إلى جـانب الأميركي ف. جيبس Willard Gibbs مؤسس الميكـانيك الإحصـائي الحـديث، ويقـال إن انتحـاره عـام ١٩٠٦ كـان أحـد أسبابه، المعارضة الفلسفية التي لاقتها أعماله، ولكن هذه المنازعـات حسمت منذ زمن طويل). وقيمة ثابت بولتزمان، هي ٠,٠٠٠٠٨٦١٧ إلكترون ـ فولت لكل درجة حرارة كلفن. وعلى هذا، فـإن طاقـة كل فـوتون في درجـة الحرارة ٣٠٠٠° ك، أي عندما أصبح الكون شفافاً أمام الأشعة، هي تقريباً جداء العدد ٣٠٠٠ في ثابت بولتزمان، أي ٠,٢٦[1] إلكترون فولت (لنذكر أن الإلكتـرون فـولت هو الـطاقة التي يكتسبهـا إلكترون يجتـاز فرقـاً في الكمون قـدره فولت واحد. والطاقـة النموذجيـة للتفاعـلات الكيماويـة هي من رتبة إلكتـرون فولت واحد لكل ذرة. لذلك فإن الإشعاع الذي درجة حـرارته ٣٠٠٠° ك هـو إشعاع

---

(١) هذه طبعاً طاقة وسطى للفوتـون، أي أنه كـانت هناك فـوتونـات طاقتهـا أعلى من ذلك وتكفي لتفكيك ذرة الهيدروجين التي تحتاج إلى ما يقرب من ١٣ إلكترون فولت

(المترجم).

تكفي حرارته لأن تمنع دخول قسم لا بأس به من الإلكترونات في تركيب الذرات).

وقد رأينا أن الفوتونات لا بد لها لكي تولد جسيمات كتلتها m في أثناء تصادمها، من أن تملك طاقة تساوي على الأقل طاقة السكون mc^2 للجسيمات. ولما كانت الطاقة المميزة للفوتون تساوي درجة الحرارة مضروبة في ثابت بولتزمان،فلا بد أن تكون درجة حرارة الإشعاع من رتبة طاقة السكون mc^2 مقسومة على ثابت بولتزمان لكي يصبح توليد الجسيمات ممكناً. وعلى هذا، فإن **كل** نوع من الجسيمات يقابله «درجة حرارة عتبة»معطاة بنسبة طاقة السكون mc^2 للجسيم إلى ثابت بولتزمان. ولا بد للإشعاع أن يبلغ هذه العتبة حتى يتمكن من توليد هذه الجسيمات.

فمثلاً، أخف الجسيمات المعروفة هو الإلكترون e^- والبوزيترون e^+. والبوزيترون هو «الجسيم المضاد» للإلكترون، أي أن شحنته مناظرة لشحنة الإلكترون (موجبة بدلاً من سالبة)، وله كتلة الإلكترون وسبينه نفسيهما. وعندما يصطدم البوزيترون مع الإلكترون، يمكن للشحنتين أن تتفانيا، وأن تتحول الطاقة الكتلية للجسيمين إلى إشعاع صرف. وهذا طبعاً هو السبب في كون البوزيترونات جسيمات نادرة، إذ إنها لا تعيش طويلاً قبل أن تصادف إلكترونات وتتفانى معها (اكتشف البوزيترون في الأشعة الكونية عام ١٩٣٢). والسيرورة المعاكسة لسيرورة التفاني يمكن أن تحدث أيضاً: إذ يمكن أن يصطدم فوتونان لهما طاقة كافية،فيولدان زوجاً من الإلكترون ـ بوزيترون، وهنا تتحول طاقة الفوتونين إلى طاقة كتلة الإلكترون والبوزيترون.

لكي يمكن لفوتونين أن يولدا زوج إلكترون ـ بوزيترون بعد أن يتصادما تصادماً مجابهاً، يجب أن تتجاوز طاقة كل منهما طاقة السكون mc^2 المتضمنة في الإلكترون أو البوزيترون. وهذه الطاقة تساوي ٠,٥١١٠٠٣ مليون إلكترون فولت. ولإيجاد درجة حرارة العتبة التي يكون فيها للفوتونين حظ كاف لأن يملكا هذه الطاقة، علينا أن نقسم هذه الطاقة على ثابت بولتزمان

(٠,٠٠٠٠٨٦١٧ إلكترون فولت لكل درجة كلفن)، فنجد درجة الحرارة ٥,٩٣ مليار كلفن، (٥,٩٣×١٠⁹ درجة كلفن). ففي كل درجة حرارة أعلى من هذه، يمكن أن تتولد الإلكترونات والبوزيترونات، تولداً حراً من اصطدام الفوتونات، وتتوافر بالتالي الإلكترونات والبوزيترونات بأعداد كبيرة جداً.

(لنلاحظ أن درجة حرارة العتبة ٥,٩٣×١٠⁹ ك التي توصلنا إليها، واللازمة لتوليد الإلكترونات والبوزيترونات من الإشعاع، هي أعلى من كل درجة حرارة يمكن أن نصادفها عادة في الكون الحالي. وحتى في مركز الشمس تقرب درجة الحرارة من ١٥ مليون درجة. وهذا هو السبب في أننا لا نرى عادة إلكترونات وبوزيترونات تظهر في الفضاء الفارغ، حتى عندما يكون الضوء شديداً جداً).

هذه القوانين ذاتها تطبق على كل نوع من أنواع الجسيمات، وهي قاعدة أساسية في الفيزياء الحديثة، بمعنى أن كل جسيم يقابله «جسيم مضاد»، له كتلة الأول وسبينه نفسيهما، ولكن شحنته الكهربائية معاكسة. ولكن توجد جسيمات حيادية تماماً، كالفوتون نفسه، فهذه الجسيمات تشذ عن القاعدة، ولكن يمكن النظر إليها على أنها جسيمات مضادة لنفسها. والعلاقة بين جسيم ومضاده هي علاقة تناظرية، بمعنى أن البوزيترون هو الجسيم المضاد للإلكترون، وبالمقابل فإن الإلكترون هو الجسيم المضاد للبوزيترون. وإذا توافرت طاقة كافية فإن بالإمكان دائماً توليد زوج جسيم ـ جسيم مضاد لا على التعيين عند اصطدام زوج من الفوتونات.

(إن وجود الجسيمات المضادة هو نتيجة رياضية مباشرة لميكانيك الكم والنظرية النسبية الخاصة. وكان أول من استنتج وجودها نظرياً هو بول أندريان موريس ديراك Paul Andrian Maurice Dirac عام ١٩٣٠. ولكي لا يضطر هذا الأخير إلى إدخال جسيم مجهول في نظريته، فقد اعتبر الجسيم المضاد للإلكترون هو الجسيم الموجب الوحيد المعروف آنذاك، أي البروتون. ولكن اكتشاف البوزيترون عام ١٩٣٢ كان تحققاً لنظرية الجسيمات المضادة، كما

برهن في الوقت نفسه على أن البروتون ليس جسيماً مضاداً للإلكترون، بل هو مضاد لجسيم آخر خاص به هو البروتون المضاد الذي اكتشف في الخمسينات في جامعة بركلي).

وأخف جسيم يأتي بعد الإلكترون والبوزيترون هو الموبون μ^-، وهو نوع من إلكترون ثقيل، مضاده هو μ^+. وهذان الجسيمان (كالإلكترون والبوزيترون) لهما شحنتان متعاكستان، ولكن لهما كتلة واحدة، ويمكن أن يتولدا من اصطدام فوتونين. وطاقتهما في السكون mc^2 تساوي ١٠٥,٦٥٩٦ مليون إلكترون فولت، وهذه الطاقة بعد تقسيمها على ثابت بولتزمان تعطينا درجة حرارة العتبة ١٢٢٦ مليار درجة (١,٢٢٦ × ١٠^١٢ درجة كلفن). وسيجد القارىء في نهاية الكتاب جدولاً يحوي درجة حرارة العتبة لكل جسيم من الجسيمات. وإذا تفحصنا هذا الجدول نستطيع أن نقول ما هي الجسيمات التي وجدت بأعداد كبيرة في مختلف عصور تاريخ الكون: فهذه الجسيمات بكل بساطة هي تلك التي درجة حرارة العتبة لها أقل من درجة حرارة الكون في العصر الذي نود التحدث عنه.

ترى كم من هذه الجسيمات المادية كانت فعلاً متوافرة في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة عتبتها؟ في الظروف التي كانت سائدة في بداية تاريخ الكون، أي عندما كانت درجة الحرارة والكثافة مرتفعتين، كان عدد الجسيمات محدداً بقاعدة أولية أساسية هي قاعدة التوازن الحراري، أي لا بد أن هذا العدد كان مرتفعاً إلى الحد الكافي الذي يصبح معه عدد الجسيمات التالفة في كل ثانية مساوياً بالضبط لعدد الجسيمات المتولدة (أو بلغة الاقتصاد: الطلب يساوي العرض)، ومعدل تفاني كل زوج جسيم ـ جسيم مضاد وتحوله إلى زوج من الفوتونات تكون مساوية تقريباً لمعدل تولد هذه الجسيمات والجسيمات المضادة من أزواج فوتونات لها هذه الطاقة نفسها. وهكذا فإن شرط التوازن يقتضي أن يكون عدد جسيمات كل نوع درجة حرارة عتبته أدنى من درجة الحرارة الفعلية، مساوياً تقريباً لعدد الفوتونات. فإذا وجد عدد من الجسيمات أقل من عدد الفوتونات، تتولد جسيمات جديدة بسرعة

أكبر من أن يتاح تهديمها ويزيد بالتالي عدد الجسيمات، وإذا كان عدد الجسيمات أكثر من الفوتونات، فإنها تتهدم بسرعة أكبر من أن يتاح تولدها، وبالتالي ينقص عددها (أي عدد الجسيمات). فمثلاً في درجات الحرارة الأعلى من عتبة ٦ مليار درجة، لا بد أن عدد الإلكترونات والبوزيترونات كان مساوياً تقريباً لعدد الفوتونات، ويمكن القول إن الكون في العصر الذي سادت فيه درجة الحرارة هذه، كان مكوناً بشكل رئيسي من فوتونات وإلكترونات وبوزيترونات، وليس وحسب من فوتونات.

ومع ذلك، يتصرف كل جسيم مادي في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة عتبته، تصرفاً قريباً من الفوتون. وطاقته الوسطى تساوي تقريباً جداء درجة الحرارة في ثابت بولتزمان. فعندما تكون درجة الحرارة أعلى جداً من درجة حرارة العتبة، تكون طاقة الجسيم الوسطى أكبر بكثير إذاً من طاقته الكتلوية، فهذه تكون بالتالي مهملة. ففي مثل هذه الظروف الفيزيائية، تكون مساهمة بعض أنواع الجسيمات في الكثافة وفي الضغط متناسبة تناسباً بسيطاً مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة، أي بالضبط كالفوتونات. وفي مثل هذه الحالة يمكن أن نعد الكون في كل لحظة من لحظاته مكوناً من مختلف أنواع «الإشعاع»: (نوع إشعاع لكل نوع من الجسيمات التي درجة حرارة عتبتها أدنى من درجة الحرارة الكونية في هذه اللحظة). ومثل هذه الظروف التي درجة الحرارة فيها مرتفعة، والأزواج جسيم ـ جسيم مضاد عديدة جداً كالفوتونات، وفي حالة توازن حراري معها، هذه الظروف لا توجد في أي مكان من الكون حالياً، اللهم إلا في نوى النجوم المتفجرة (النوفا). ومع ذلك، نحن مطمئنون إلى درجة كافية من معارفنا في الميكانيك الإحصائي إلى درجة أننا واثقون من النظريات التي نضعها حول ما جرى في بدء تاريخ الكون، وحتى في ظروف فيزيائية في مثل هذه الغرابة غير المعهودة.

وللدقة نقول، إن علينا ألا ننسى أن جسيماً مضاداً كالبوزيترون(e^+) يشكل نوعاً متميزاً من الجسيمات. كما أن جسيمات كالفوتون أو الإلكترون يمكن أن توجد في حالتين لهما سبينان مختلفان، فالجسيم في كل حالة يجب

أن يعد نوعاً متميزاً عما هو في الحالة الأخرى. وأخيراً، إن جسيمات كالإلكترونات (ولكن ليست الفوتونات من بينها)، تخضع لقانون خاص هو «مبدأ الاستبعاد لباولي»، فهذا المبدأ يمنع جسيمين من هذه الجسيمات أن يحتلا حالة واحدة. ولهذه القاعدة نتيجة إجمالية، وهي أنها تقلل من مساهمة هذه الجسيمات في كثافة الطاقة الكلية بنسبة $\frac{٧}{٨}$. (ومبدأ الاستبعاد هذا هو الذي يمنع إلكترونات الذرة من أن تسقط كلها في طبقة الطاقة الأخفض، فهو المسؤول إذاً عن البنية المعقدة ذات الطبقات التي تكشفت عنها الذرات في جدول العناصر الدوري). وقد ثبتنا في نهاية الكتاب العدد الفعلي للأنواع[١] لكل نمط من أنماط الجسيمات بالإضافة إلى درجة حرارة العتبة لكل منها. وكثافة طاقة الكون في درجة حرارة معينة متناسبة مع القوة الرابعة لهذه الدرجة ومع العدد الفعلي لأنواع الجسيمات التي درجة حرارة عتبتها أقل من درجة حرارة الكون.

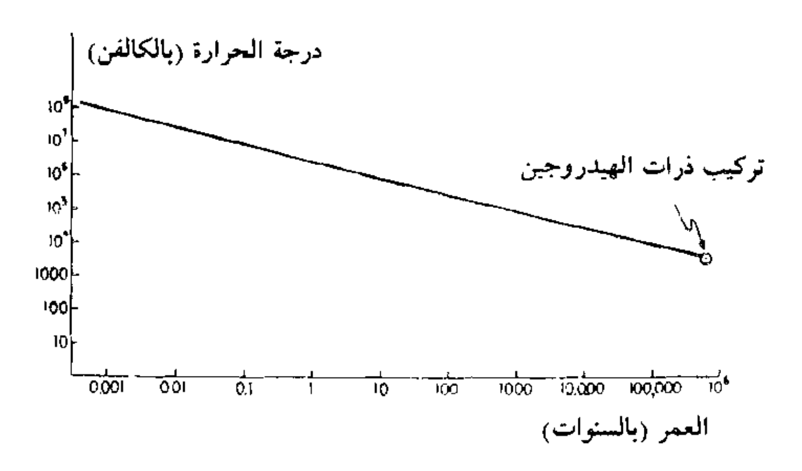
وعلينا أن نتساءل الآن، متى كانت درجة حرارة الكون مرتفعة إلى هذه الدرجة؟ إن ما يتحكم في سرعة توسع الكون هو التوازن بين حقل الثقالة وبين مركبة اندفاع محتوى الكون المتجهة نحو الخارج. أما مصدر الثقالة فهو كثافة الطاقة لمختلف أنماط الإشعاع ـ المادي والكهرطيسي. فهذه الكثافة هي التي كانت توفر مصدراً لحقل الثقالة في الأزمنة الأولى. وقد رأينا أن كثافة طاقة الكون لا تتوقف بشكل أساسي إلا على درجة الحرارة الكونية. فيمكننا إذاً أن نستخدم درجة الحرارة هذه كالساعة، ولكن هذه الساعة لا تصدر كبقية الساعات صوت تيك ـ تاك، بل تبرد الكون خلال توسعه. أو بالتحديد، يمكن أن نبرهن أن الزمن اللازم لكي تهبط كثافة طاقة الكون من قيمة إلى أخرى، متناسب مع الفرق بين مقلوبي الجذرين التربيعيين لهاتين الكثافتين (انظر

---

(١) «العدد الفعلي للأنواع» لنمط من الجسيمات هو المساهمة النسبية لهذا النمط في الطاقة الكلية والضغط الكلي والأنطروبية الكلية في درجة حرارة أعلى كثيراً من درجة حرارة عتبتها (راجع حاشية جدول «خواص بعض الجسيمات الأولية» في نهاية الكتاب).

الملحق الرياضي ٣). ولكن كنا رأينا أن كثافة الطاقة متناسبة مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة ومع عدد أنواع الجسيمات التي درجة حرارة عتبتها أقل من درجة الحرارة الواقعية للكون. وعلى هذا، **طالما أن درجة الحرارة الكونية لم تجتز «عتبة» ما، فإن الزمن اللازم لكي تهبط درجة الحرارة من قيمة إلى أخرى، متناسب مع الفرق بين مقلوبي مربعي هاتين الدرجتين**. فإذا بدأنا من درجة الحرارة ١٠٠ مليون درجة (وهي أقل من درجة حرارة العتبة للإلكترونات)، ووجدنا أنها احتاجت إلى ٠,٠٦ من السنة (أو ٢٢ يوماً) لكي تهبط إلى ١٠ ملايين درجة، فإن هذا يعني أنه يجب أن ننتظر ٦ سنوات أخرى لكي تهبط درجة الحرارة إلى مليون درجة، وكذلك ٦٠٠ سنة لكي تهبط إلى ١٠٠٠٠٠ درجة وهكذا دواليك. والمدة الكلية لكي يبرد الكون من ١٠٠ مليون درجة إلى ٣٠٠٠ درجة كلفن (وهي اللحظة التي كاد فيها الكون أن يصبح شفافاً أمام الإشعاع)، هذه المدة هي ٧٠٠٠٠٠ سنة (انظر الشكل ٨). ويجب أن يُفهم طبعاً أني عندما أكتب هنا «سنة» فإني أعني عدداً من واحدات زمن مطلق، مثلاً عدد مرات دوران إلكترون حول النواة في ذرة هيدروجين، إذ إن العصر الذي نتحدث عنه، كان قد أتى قبل أن تبدأ الأرض دورانها حول الشمس بزمن طويل.

ولو كان الكون في الدقائق الأولى من عمره مكوناً من العدد نفسه بالضبط من الجسيمات ومن مضاداتها، لتفانت هذه الجسيمات زوجاً زوجاً عندما هبطت درجة الحرارة إلى ما دون المليار درجة، ولما بقي شيء سوى الإشعاع. ولدينا دليل لا يرد أبداً على أن هذا ليس ما حدث، إذ إننا موجودون! فلا بد أن عدد الإلكترونات في الكون كان أكثر من عدد البوزيترونات، وعدد البروتونات أكثر من عدد مضاداتها، وكذلك، النوترونات أكثر من مضاداتها، وذلك لكي يبقى بعد تفاني الجسيمات مع مضاداتها شيء ما يوفر المادة التي تشكل الكون الحالي. وقد تجاهلت عن عمد حتى هذا الفصل وجود كمية قليلة نسبياً من هذه المادة التي ظلت بعد التفاني. ولو أننا أردنا أن نحسب كثافة الطاقة أو سرعة توسع الكون وحسب في بداية تاريخه،



شكل (٨) عصر طغيان الاشعاع

يمثل هذا المخطط درجة حرارة الكون بدلالة الزمن منذ الفترة التي تلت نهاية التركيب النووي مباشرة حتى إعادة تأليف النوى والإلكترونات للذرات.

لكان هذا تقريباً جيداً، إذ رأينا في الفصل السابق أن كثافة طاقة الجسيمات النووية لم تضاه كثافة الإشعاع إلا عندما هبطت درجة حرارة الكون إلى ٤٠٠٠ درجة كلفن تقريباً. ومع ذلك، فإن هذا القليل من «التوابل» المكون من جسيمات نووية لم تتفان، هو مقدار جدير باهتمام خاص، لأنه هو الذي يشكل القسم الأساسي من كوننا الحالي، ولا سيما المؤلف ذاته وقارىء هذه السطور.

وعلى هذا، فبعد أن سلمنا بإمكان وجود فائض في المادة على المادة المضادة في الدقائق المعدودة الأولى، صار لزاماً علينا أن نتطرق إلى مسألة تحديد قائمة مفصلة بالمكونات التي دخلت في التركيب الابتدائي للكون. ولكن هناك مئات الجسيمات التي توصف بأنها «أولية» على اللائحة التي ينشرها مخبر لورنس بركلي Lawrence Berkley كل ستة أشهر. فهل علينا أن نحدد عد جسيمات كل نمط من هذه الأنماط؟ ثم لماذا نتوقف عند الجسيمات

الأوليـة؟ أعلينا كـذلك أن نحـدد عدد ذرات كـل نمط وعـدد الجزيئـات حتى «الملح» و «الفلفل»؟ ففي هذه الحـالة، نستـطيع، بـل لنا الحق أن نقـرر، أن الكون معقد جداً واختياري، بحيث لا يساوي الجهد الذي سنبذله لفهمه.

ولكن الكون لحسن الحظ ليس معقداً إلى هذا الحد. ولكي نـرى كيف يمكن أن نكتب وصفة تكوينه (أو طبخه) بما يدخـل فيها من تـوابل، علينـا أن نمعن النظر أكثر قليلاً في معنى شرط التوازن الحراري. كنت قد أشرت سابقاً كم هو هام أن يكون الكون قد مر في حالة توازن حراري ـ فهذا يساعدنا على الحديث بكثير من الطمأنينة عن محتوى الكون في كل لحـظة من لحظاتـه، إذ إن مناقشتنا في هذا الفصل لم تقم حتى الآن إلا على تطبيقات خواص معروفة للمادة والإشعاع وهما في حالة توازن حراري.

فعندما تؤدي الاصطدامات والعمليات الأخرى بمنظومة فيزيائية إلى حالة توازن حراري، يكون هناك دائمـاً بعض المقاديـر التي تظل قيمتهـا ثابتـة. من هـذه «المقاديـر المصانـة» هنـاك الـطاقـة الكليـة للمنـظومـة. فحتى لـو أمكن للصدمات أن تحول شيئاً من الطاقة من جسيم إلى آخر، إلا أنها لن تعدل أبداً قيمة الطاقة الكلية للجسيمات المشاركة في هذه الصـدمات. وكـل قانـون من قوانين الانحفاظ (المصونية) هذه يقابله مقدار يجب أن نحدده قبـل أن نستنتج خواص المنظومـة في حالـة التوازن الحـراري ـ طبعاً، إذا ظـل مقدار مـا ثابتـاً عندما تقترب المنظومة من حالـة التوازن، فـإن قيمة هـذا المقدار لا يمكن أن تُستنتج من شروط التوازن، بل يجب أن تُحـدد مبدئياً أو سلفاً. والأمـر الملفت للنظر حقاً في منظومة موجودة في حالة توازن حراري، هـو أن جميع خـواصها تتعين تعييناً محدداً ووحيداً منذ اللحظة التي تتعين فيها قيم مقاديرها المصانة. لقد مر الكون في حالة توازن حراري، فنحن لا نحتاج لكي نبين صيغة تركيبـه الابتدائي، إلا إلى معرفة المقادير الفيزيائية التي كانت مصانة في أثناء توسعه، وإلى معرفة كم كانت قيم هذه المقادير.

ولكن عوضاً عن الـطاقة الكليـة المحتواة في منـظومة مـوجودة في حـالة توازن حراري، نعطي عادة درجة حرارتهـا. وبالنسبـة إلى نمط المنظومـة التي

وجهنا إليها عنايتنا بوجه خاص حتى الآن، والتي تتألف وحسب من إشعاع ومن عدد واحد من الجسيمات ومن الجسيمات المضادة، كانت درجة الحرارة هي المقدار الوحيد اللازم لتعيين خواص توازن المنظومة. ولكن توجد عامة مقادير أخرى مصانة غير الطاقة، ولا بد من تحديد كثافة كل منها.

فمثلاً، في كأس ماء موجود في درجة الحرارة السائدة في الجو، تحدث باستمرار تفاعلات، فإما أن يتحول جزيء ماء إلى إيون هيدروجين (أي بروتون عار، أو بالأحرى نواة الهيدروجين الذي أخذ منه الإلكترون) وإلى إيون هيدروكسيل (أي ذرة أوكسجين مرتبطة مع ذرة هيدروجين ومعهما إلكترون إضافي)، وإما أن يتحد إيون هيدروجين مع إيون هيدروكسيل ليكونا جزيء ماء. ولنلاحظ أنه في كل من هذين التفاعلين، يترافق اختفاء حزيء ماء مع ظهور إيون هيدروجين والعكس بالعكس، في حين أن إيونات الهيدروجين والهيدروكسيل تظهر أو تختفي، دائماً في وقت واحد. وعلى هذا فإن المقادير المصانة هي العدد الكلي لجزيئات الماء مضافاً إليه عدد إيونات الهيدروجين، وكذلك عدد إيونات الهيدروجين مطروحاً منه عدد إيونات الهيدروكسيل (وهناك طبعاً مقادير أخرى مصانة، كالعدد الكلي لجزيئات الماء مضافاً إليه عدد إيونات الهيدروكسيل، ولكن هذه المقادير يمكن الحصول عليها بعمليات بسيطة على المقادير المصانة الأساسية). إن خواص كأس الماء هذا يمكن أن نحددها كلياً إذا حددنا أن درجة حرارته هي ٣٠٠ درجة كلفن (أي درجة الحرارة السائدة بمقياس كلفن)، وأن كثافة جزيئات الماء مضافاً إليها كثافة الهيدروجين هي ٣,٣ × ١٠^٢٢ جزيء أو إيون في كل سنتيمتر مكعب (وهذه تقريباً كثافة الماء عند ضغط مستوى البحر) وأن كثافة إيونات الهيدروجين مطروحاً منها كثافة إيونات الهيدروكسيل هي صفر (وهذا يتفق مع حالة شحنة كهربائية كلية معدومة). فنجد مثلاً أنه يوجد في ظروف كهذه إيون هيدروجين واحد مقابل ما يقرب من ٥٠٠ مليون جزيء ماء. ولنلاحظ أننا لا نحتاج إلى تحديد ذلك في وصفنا لكأس ماء، إذ نستنتج نسبة إيونات الهيدروجين من قوانين التوازن الحراري. وبالمقابل، لا نستطيع أن

نستنتج كثافات الكميات المصانة من شروط التوازن الحراري ـ وهكذا نستطيع أن نـزيد أو ننقص هـذه القيمة (ونعني بهـا ٣,٣ × ١٠^٢٢ جزيء مـاء أو إيـون هيدروجين في السنتيمتر المكعب) زيـادة خفيفة أو نقصـاناً خفيفـاً، إذا زدنا أو أنقصنا الضغط ـ فعلينا إذاً أن نحدد الكثافات سلفاً لكي نعـرف ماذا يـوجد في كأسنا.

ويمكن لهـذا المثال أيضـاً أن يسـاعـدنـا على فهم المعنى المتغيـر لمـا يسمى مقدار «مصان». فمثلاً لو كان هذا الماء في درجة حـرارة مقدارهـا عدة مـلايين درجـة، أي كمـا هـو الحـال في داخـل نجم، لكـان هينـاً جـداً على الجـزيئـات أو الإيـونـات أن تتحلل، وعلى الـذرات التي تكـونهـا أن تفقـد إلكتـروناتهـا. فالمقـادير المصـانـة عنـدئـذ هي عـدد إلكتـرونـات الأوكسجين والهيدروجين وعدد نـواهما. وفي مثـل هذه الشـروط. يجب أن نحسب كثافـة جـزيئـاتالمـاء وإيـونـات الهيـدروكسيـل بـالاعتمـاد على قـوانين الميكـانيـك الإحصـائي بدلاً من أن تحـدد سلفاً. وهي صغيـرة طبعاً في هـذه الحالـة (إن كريات الثلج نادرة في الجحيم)، ذلك بالفعل لأن التفاعلات النووية يمكن أن تحـدث في هذه الشـروط، وعدد نـوى كل نـوع ليس بالتـالي محدداً تحـديداً قـطعياً، وإنمـا يتغير ببطء، حتى ليمكن أن نعتبـر أن النجم يتحول بـاطراد من حالة توازن إلى أخرى.

أخيراً، إن نوى الذرات نفسها تتفكك إلى جسيماتها المكونـة لها، (أي إلى البروتونات والنوتـرونات) في درجـات الحرارة التي تبلغ عـدة مليارات من الدرجات، وهي الحالة التي كانت سائدة في بداية الكون. وتحدث التفاعلات بسرعة، حتى أن المـادة والمادة المضـادة يمكن أن تتولـدا بسهولـة من الطاقـة الصرفة، أو تتفانيا من جديد. وفي هذه الظروف لا تكون المقادير المصانة هي أعداد الجسيمات، وذلك مهما كان نمط هذه الجسيمـات. وقوانين الانحفـاظ التي تـنطبق عندئـذ، تقتصر على العـدد الصغير الـذي يظل (حسب معـرفتنـا) مرعياً في سائر الـظروف الفيزيـائية. ويـظن أن ليس هناك سـوى ثلاثـة مقاديـر مصانة يجب أن تحدد كثافاتها في وصفتنا لبداية الكون.

١ ـ الشحنة الكهربائية: يمكن توليد أو هدم زوج من الجسيمات شحنتاهما الكهربائيتان متساويتان ومتناظرتان، ولكن الشحنة الكهربائية لا تتغير أبداً (ونستطيع أن نثق بقانون الانحفاظ هذا أكثر من كل قانون آخر، إذ لو لم تكن الشحنة مصانة، لما كان لنظرية ما كسويل في الكهرباء والمغناطيسية معنى من المعاني).

٢ ـ العدد الباريوني: كلمة «باريون» كلمة عامة تشمل الجسيمات النووية، أي البروتونات والنوترونات، بالإضافة إلى جسيمات غير مستقرة هي أثقل قليلاً من سابقتها وتدعى هبرونات. ويمكن للباريونات ولمضاداتها أن تتولد أو تتهدم أزواجاً أزواجاً. كما يمكن للباريونات أن تتفكك إلى باريونات أخرى، كما هو الحال في «تفكك بيتا» الذي يحدث في نواة مشعة، إذ يتحول نوترون في هذا التفكك إلى بروتون والعكس بالعكس. ومع ذلك فإن العدد الكلي للباريونات مطروحاً منه عدد الباريونات المضادة (البروتون المضاد، النوترون المضاد، الهبرون المضاد) لا يتغير أبداً. وهكذا نعزو «عدداً باريونياً» قيمته + ١ لكل من البروتون والنوترون والهبرون و «عدداً باريونياً» قيمته − ١ لكل من الجسيمات المضادة المقابلة لها. فالقاعدة تصبح على هذا النحو: إن العدد الكلي للباريونات يبقى ثابتاً. ولا يبدو أن لهذا العدد مدلولاً ديناميكياً، كما هو الأمر في الشحنة الكهربائية. فبحسب معرفتنا لا يوجد شيء ما مشابه لحقل كهربائي أو لحقل مغناطيسي يمكن أن يتولد من العدد الباريوني. وكل ما في الأمر هو نظام محاسبة ـ ومدلول هذا العدد ينحصر كله في كونه محفوظاً.

٣ ـ العدد الليبتوني: «الليبتونات» هي جسيمات خفيفة مشحونة بشحنة كهربائية سالبة وهي: الإلكترون، والمويون، وجسيم حيادي كتلته صفر يسمى نوترينو، وكذلك الجسيمات المضادة لهذه، وهي: البوزيترون، والمويون المضاد، والنوترينو المضاد. وعلى الرغم من أن شحنة النوترينو والنوترينو المضاد معدومة، وكذلك كتلتهما[١]، إلا أنهما ليسا أكثر افتعالاً (أو شبحية)

(١) يظن حالياً أن كتلة النوترينو السكونية غير معدومة. راجع مقالة ج. دوماريه J. Demaret و ج. =

من **الفوتون**، وهما ككل جسيم ينقلان الطاقة والاندفاع. وقانون انحفاظ العدد الليبتوني هو نظام محاسبة آخر - إن العدد الكلي لليبتونات مطروحاً منه العدد الكلي لليبتونات المضادة لا يتغير أبداً. (لقد كشفت تجارب أجريت عام ١٩٦٢ حول حزم النوترينو على أنه يوجد منها على الأقل نمطان: النوترينوات «الإلكترونية» والنوترينوات «الميونية». وأنه يوجد كذلك نمطان من الأعداد الليبتونية: العدد الليبتوني الإلكتروني، وهو العدد الكلي للإلكترونات والنوترينوات الإلكترونية مطروحاً منه عدد جسيماتها المضادة، في حين أن العدد الليبتوني الميوني هو العدد الكلي للميونات والنوترينوات الميونية مطروحاً منه عدد جسيماتها المضادة. ويبدو أن العددين مصانان قطعاً، ولكن لم يتمكنوا من إظهار ذلك بكل يقين).

وهناك مثال جيد عن طريقة العمل بهذه القواعد، نستقيه من سيرورة **التفكك الإشعاعي للنوترون** (n)، إذ يتفكك إلى بروتون p وإلكترون e^- ونوترينو مضاد (إلكتروني) $\bar{\nu}_e$. إن قيم كل من الشحنة والعدد الباريوني والعدد الليبتوني لهذه الجسيمات معطاة في الجدول التالي.

	قبل التفكك	بعد التفكك			
	النوترون	بروتون	إلكترون	نوترينو مضاد	المجموع
الشحنة	صفر	١+	١-	صفر	صفر
العدد الباريوني	١+	١+	صفر	صفر	١+
العدد اللبتوني	صفر	صفر	١+	١-	صفر

ويمكن للقارىء أن يتحقق بسهولة أن مجموع قيم كل من المقادير المصانة للجسيمات في الحالة النهائية (بعد التفكك) يساوي قيمة المقدار

= فاندرمولين J. Vandermeulin المترجم إلى العربية في عالم الذرة: «الجسيمات وعلم الكون»: العدد الخامس السنة الثانية.

نفسه في النوترون الأولي قبل التفكك. وهذا ما عنيناه من حديثنا عن مصونية هذه المقادير. ولا شك أن هذه القوانين ليست خالية من المدلول، إذ إنها تتنبأ بأمر هام، وهو أنه لا يمكن أن يحدث تفاعل ما بأشكال عديدة، فمثلاً لا يمكن أن يحدث تفكك نوترون إلى بروتون وإلكترون وعدة نوترينوات مضادة.

والآن، لإتمام وصفتنا التي تحدد «التوابل»[1] المكونة للكون في كل لحظة، علينا أن نحدد الشحنة والعدد الباريوني والعدد الليبتوني لكل واحدة حجوم، وأن نعطي كذلك درجة الحرارة في هذه اللحظة. إن قوانين الانحفاظ (أو المصونية) تقول إن قيم هذه المقادير تظل ثابتة في كل حجم يتسع مع اتساع الكون. وهكذا فإن الشحنة والعدد الباريوني والعدد الليبتوني في واحدة الحجوم، تتغير ببساطة (أي بتناسب) مع مقلوب مكعب قدر الكون. وقد رأينا في الفصل الثالث أن عدد الفوتونات في واحدة الحجوم متناسب مع مكعب درجة الحرارة، في حين أن درجة الحرارة كما أشرنا في بداية هذا الفصل متناسبة عكساً مع قدر الكون. فالشحنة إذاً والعدد الباريوني والعدد الليبتوني المقابلة لكل فوتون تظل ثابتة. فوصفتنا بالتالي (على غرار كل طبخة) تصبح جاهزة وصالحة لكل اللحظات إذا حددنا النسب بين المواد، أي قيم هذه المقادير المصانة مقابل كل فوتون.

(إذا توخينا الحرص والدقة، يجب أن نقول إن المقدار الذي يتغير متناسياً مع مقلوب مكعب قدر الكون ليس عدد الفوتونات في واحدة الحجوم، وإنما (الأنطروبية) في واحدة الحجوم. والأنطروبية هي مقدار أساسي من مقادير الميكانيك الإحصائي يرتبط في حالة منظومة فيزيائية بدرجة الفوضى فيها. ولكن، إذا أغفلنا معاملاً عددياً اصطلاحياً، فإن الأنطروبية تعطى بتقريب جيد بعدد الجسيمات كلها من مختلف الأنواع ـ مادية أو فوتونات ـ والموجودة في حالة توازن حراري. وذلك نظراً للنسب المعطاة في جدول(خواص بعض الجسيمات الأولية) من أجل مختلف أنواع الجسيمات.

---

(١) أي المركبات (أو المواد) التي يتكون منها الكون في بدايته

(المترجم).

فالثوابت التي علينا أن نستعملها في حال توخي الدقة التامة هي نسب الشحنة والعدد الباريوني والعدد الليبتوني إلى الأنطروبية. ومع ذلك، فإن عدد الجسيمات المادية، حتى في درجات الحرارة المرتفعة جداً، هو على الأكثر في سوية قدر عدد الفوتونات. فلن نرتكب إذاً خطأ جسيماً إذا نحن اتخذنا معيارنا عدد الفوتونات بدلاً من الأنطروبية).

إن تقدير الشحنة الكهربائية في مقابل كل فوتون أمر سهل. ففي حالة معارفنا الراهنة، تبدو الكثافة الوسطى للشحنة الكهربائية معدومة في كل الكون. ولو كان في الأرض والشمس فائض من الشحنة الموجبة، أو السالبة، مقداره وحسب واحد من مليار مليار مليار المليار (١٠^٣٦)، لتجاوزت قيمة الدفع الكهربائي الذي تتبادله الجسيمات فيما بينها قيمة الجذب التثاقلي. ولو كان الكون منتهياً ومغلقاً، لأمكننا حتى أن نضع نظرية من هذه الملاحظة، وهي التالية: يجب أن تكون الشحنة الكلية للكون معدومة، لأنها لو لم تكن كذلك، لالتفت خطوط القوة الكهربائية حول الكون إلى ما لا نهاية له، مولدة بذلك حقلاً كهربائياً غير منتهٍ. ولكن سواء أكان الكون مغلقاً أم مفتوحاً، فإن تأكيدنا بأن الشحنة الكهربائية الكونية المقابلة لكل فوتون هي مهملة، ليس تأكيداً طائشاً.

وكذلك تقدير العدد الباريوني المقابل لكل فوتون هو أيضاً سهل، إذ إن الباريونات الوحيدة المستقرة هي الجسيمات النووية: البروتونات والنوترونات ومضاداتها، أي البروتون المضاد والنوترون المضاد. (إن النوترون الحر في الحقيقة غير مستقر، لأن متوسط مدة حياته هو ١٥,٣ دقيقة، ولكن القوى النووية تجعل النوترون مستقراً استقراراً قطعياً في النوى الذرية للمادة العادية). ومن جهة أخرى، لا يوجد حسب معرفتنا، كمية لها وزنها من المادة المضادة في الكون (وسنعود إلى هذه النقطة فيما بعد). فالعدد الباريوني إذاً في كل مكان من الكون يساوي (دون خطأ يذكر) عدد الجسيمات النووية. وقد رأينا في الفصل السابق أنه يوجد حالياً جسيم نووي مقابل كل مليار فوتون من فوتونات الخلفية المكونة من إشعاعات الراديو (ولكن هذا الرقم لم يثبت بشكل أكيد). فالعدد الباريوني مقابل كل فوتون هو واحد من مليار أو (١٠^-٩).

وهذه نتيجة تلفت النظر. ولكي نرى ما يترتب عليها من نتائج، نأخذ زمناً في الماضي كانت درجة الحرارة فيه أكثر من عشرة آلاف مليار درجة (10^{13} ك)، وهي درجة حرارة العتبة للبروتونات والنوترونات. في هذه الفترة كان الكون يحتوي على عدد كبير من الجسيمات النووية ومن مضاداتها، وتقريباً على قدر ما فيه من فوتونات. ولكن العدد الباريوني هو الفرق بين أعداد الجسيمات النووية وبين مضاداتها. فلو كان هذا الفرق أصغر بمليار مرة من عدد الفوتونات، وبالتالي أصغر بمليار مرة من العدد الكلي للجسيمات النووية، لكان هذا العدد الأخير (للجسيمات النووية) يتجاوز عدد الجسيمات المضادة بنسبة واحد لمليار فقط. فمن وجهة النظر هذه، عندما هبطت درجة حرارة الكون إلى ما تحت درجة حرارة العتبة للجسيمات النووية، تفانت كل الجسيمات المضادة مع الجسيمات المقابلة لها، تاركة بذلك بقية هي الفائض الصغير من الجسيمات، وهذا الفائض (الثانوي) هو الذي أمكن له فيما بعد أن يشكل عرضاً العالم الذي نعرفه. (وكأن عالمنا قمامة فائضة من طبخة الكون أو ربما كان هو الغاية من كل ذلك).

لقد أدى هذا الواقع (ونعني به وجود عدد لا وزن له أو صغير إلى هذا الحد «واحد من مليار» في الكون)، أقول، أدى ببعض النظريين إلى افتراض أن هذا العدد من الناحية الواقعية صفراً، بمعنى أن الكون يحوي عملياً كمية واحدة من المادة ومن المادة المضادة. وفي هذه الحالة، يفسر البعض حقيقة كون العدد الباريوني هو واحد من مليار، بفرضية مفادها أنه مرت على الكون لحظة أتت قبل أن تهبط درجة حرارته إلى ما تحت درجة حرارة العتبة للجسيمات النووية، كان فيها الكون موزعاً بين مناطق مختلفة، وأن بعض هذه المناطق كانت تحتوي زيادة طفيفة في المادة (نحو واحد من مليار)، ومناطق أخرى فيها زيادة خفيفة في المادة المضادة. وبعد أن هبطت درجة الحرارة وتفانت أزواج من مادة ـ مادة مضادة قدر المستطاع، بقي لنا كون موزع بين مناطق مادة صرفة ومناطق مادة مضادة صرفة. ولكن المشكلة، هي أنه لم يلاحظ أحد حتى الآن أية إشارة إلى وجود كمية ذات شأن من المادة

المضادة، حتى ولا في أي منطقة من الكون. ويعتقد أن الأشعة الكونية التي تخترق الطبقات العليا من الجو الأرضي يأتي قسم منها من مناطق بعيدة جداً من مجرتنا، وربما يأتي من خارج مجرتنا. والنسبة الساحقة من هذه الأشعة مكونة من مادة وليست من مادة مضادة ـ وفي حقيقة الأمر، لم يلاحظ أحد أبداً، وحتى يومنا هذا، بروتوناً مضاداً واحداً أو نواة مضادة واحدة في الأشعة الكونية. أضف إلى ذلك أن أحداً لم يلاحظ الفوتونات التي يمكن أن تكون ناشئة عن تفاني مادة ومادة مضادة على الصعيد الكوني.

وهناك احتمال آخر، وهو أن كثافة الفوتونات (أو بدقة أكثر: كثافة الأنطروبية) لم تبق متناسبة مع مقلوب مكعب قدر الكون. وهذا ما كان ممكناً أن يحدث لو أن الكون بدأ بداية غير متوازنة حرارياً، وليس لها طبيعة محددة. كأن يكون هناك نوع من اللزوجة أو الاحتكاك الذي كان بامكانه أن يسخن الكون ويولد بذلك كمية إضافية من الفوتونات. ولكن لم يأت بعد إنسان قادر على أن يقترح آلية يمكن أن تولد هذه الفوتونات. وقد حاولت أنا شخصياً إيجاد آلية من هذا النوع منذ عدة سنوات، ولكن دون أن أحرز نجاحاً ما.

ففي ما يلي، سأتجاهل سائر هذه الاحتمالات «غير القياسية» وسأفترض بكل بساطة أن العدد الباريوني المقابل لكل فوتون هو فعلاً ما بدا لنا، أي حوالي باريون واحد لكل مليار فوتون.

ولكن ماذا بشأن العدد الليبتوني؟ لقد قلنا إن الكون ليس له شحنة كهربائية، وهذا أمر يشير مباشرة إلى أن هناك حالياً بالضبط إلكتروناً مشحوناً سلباً مقابل كل بروتون مشحون إيجاباً. وهناك ما يقرب من ٨٧ ٪ من الجسيمات النووية في الكون الحالي هي بروتونات، فعدد الإلكترونات يقرب من عدد الجسيمات النووية كلها. فلو كانت الإلكترونات هي الليبتونات الوحيدة في الكون الحالي، لاستطعنا أن نستنتج مباشرة أن العدد الليبتوني من أجل كل فوتون هو بالتقريب العدد الباريوني نفسه من أجل كل فوتون.

ولكن يوجد نمط آخر من الجسيمات المستقرة غير الإلكترون

والبوزيترون، وعددها الليبتوني ليس صفراً. فالنوترينو ومضاده هما جسيمان لا كتلة لهما، وحياديان كهربائياً كالفوتـون، ولكن عدديهما الليبتونيين هما على التـرتيب + ١ و – ١. فلكي نعين كثافـة العدد الليبتـوني في الكـون الحـالي، يجب أن نعرف عدد النوترينوات ومضاداتها.

ولكن الحصـول على هذه المعـرفة لـلأسف فائق الصعـوبة، وذلـك أن النـوتـرينـو كـالإلكتـرون لا يستجيب للقـوى النـوويـة الشـديـدة التي تمسـك بالبروتونات والنوترونات داخل النوى الذرية (سأستعمل أحياناً كلمة «نـوترينـو» للدلالة على النوترينو ومضاده). إلا أن النوترينو يختلف عن الإلكتـرون في أنه حيادي كهربائياً، فهو لا يستجيب بالتالي للقوى الكهربائية أو المغناطيسية التي تمسك الإلكترون إلى الذرة. والحقيقة أن النوترينـو لا يستجيب إلى أي نمط من القوى، ولكنه ككل شيء في الكون يستجيب لقوى الثقالـة، كما يستجيب أيضاً للقوى الضعيفة المسؤولة عن النشـاط الإشعاعي التي رأينـا مثالاً لهـا في تفكك النوترون. ولكن هذه القوى لا تحدث سـوى تأثيـر متبادل ضعيف جـداً مع المادة العادية. والمثال الذي يُعطى عادة للدلالة على مدى ضعف استجابة النوترينو للمادة وعـدم تبادلـه التأثيـر معها هـو أننا إذا أردنـا أن نحظى بـإيقاف نوترينو متولـد من عملية نشـاط إشعاعي، أو نحـظى بنثره، علينـا أن نضع في طـريقه رصـاصاً بسمـاكة عـدة سنوات ضـوئيـة. فـالشمس تشـع نـوتـرينـوات باستمرار، وهذه النوترينوات تتولد عندما تتحول البروتونات إلى نـوترونـات في أثناء التفاعلات النووية التي تحدث في مركزها. هذه النوترينـوات تفيض علينا من السمـاء خلال النهـار، وتفيض من الأرض خلال الليـل، أي عندمـا تكون الشمس في الـطرف الآخـر من الأرض، لأن الأرض شفـافـة تمـامـاً أمـا النوترينوات. والحقيقة أن النوترينو كان قد اقترح وجوده ولفغانـغ باولي Wolf-gang Pauli قبل مشاهدته تجريبياً بزمن طويل. وقد تقدم بهذا الاقتراح باعتبـار أنـه وسيلة تساعـد على مراعـاة قانـون مصونيـة الـطاقـة في بعض العمليـات، كتفكـك النوتـرون. ولم يصبح التحـري عن وجود النـوتـرينـو ومضـاده ممكنـاً بطريقة مباشرة إلا منذ نهاية الخمسينات، وذلك بأن ولـدت منه كميـة كبيرة في

المفاعلات النووية أو في مسرعات الجسيمات، بحيث أمكن إيقاف بضع مئات منه بتجهيزات كاشفة.

ونظراً لضعف النوترينوات الخارق في تبادل التأثير، أصبح من السهل علينا أن نفهم كيف يمكن لعدد هائل منها ومن مضاداتها أن تملأ الكون حولنا دون أن يكون لدينا دليل على وجودها. ولكن يمكن أن نجد حداً أعلى قليل الشأن لعدد النوترينوات. إذ لو كانت هذه الجسيمات كثيرة العدد جداً، لتأثرت بذلك بعض عمليات التفكك الضعيفة تأثراً خفيفاً، ولتباطأ توسع الكون بسرعة أكبر مما يشاهد الآن. ولكن هذا الحد الأعلى لا يمنع من أن يكون هناك تقريباً نوترينوات أو مضاداتها على قدر ما هناك من فوتونات، وأن تكون طاقتها غير مهملة بالنسبة لها.

وعلى الرغم من هذه المصاعب، إلا أن الكوسمولوجيين يفترضون عادة أن العدد الليبتوني (أي عدد الإلكترونات والمويونات والنوترينوات، مطروحاً منه عدد مضاداتها) المقابل لكل فوتون هو صغير وأصغر كثيراً من الواحد الصحيح. ولا تقوم هذه الفرضية على أي أساس سوى الاستدلال بالقياس الصرف. إذ إن العدد الباريوني المقابل لكل فوتون هو صغير جداً، فلماذا لا يكون الأمر كذلك بالنسبة إلى العدد الليبتوني؟ وهذه أكثر الفرضيات مدعاة للريبة في النموذج القياسي. ولكن لحسن الحظ أن صورة الكون كما يعرضها هذا النموذج لن يطرأ عليها (إذا ما تبين خطأ هذه الفرضية) أي تعديل إلا في التفاصيل.

طبعاً، عندما كانت درجة الحرارة أعلى من درجة حرارة عتبة الإلكترونات، كانت هناك كمية كبيرة من الليبتونات ومن مضاداتها ـ أي كان هناك من الإلكترونات والبوزيترونات على قدر ما كان هناك من الفوتونات تقريباً. وفي مثل هذه الظروف، كان الكون بالتالي حاراً وكثيفاً، حتى أن النوترينوات ـ تلك الجسيمات الشبحية ـ كانت تبلغ التوازن الحراري، بحيث كان عددها مساوياً تقريباً لعدد الفوتونات. وفرضية النموذج القياسي هي أن العدد الليبتوني، أي **الفرق** بين عدد الليبتونات وبين عدد مضاداتها هو، لا بل

كان، أصغر كثيراً من عدد الفوتونات. وربما كانت هناك زيادة خفيفة في عدد الليبتونات على عدد مضاداتها ـ كزيادة الباريونات على مضاداتها ـ وهذه الزيادة ظلت محفوظة إلى اليوم. هذا، فضلاً عن أن النوترينوات ومضاداتها كانت تتبادل التأثير بضعف، حتى أن عدداً كبيراً منها كان بإمكانه الإفلات من التفاني، الأمر الذي ترك الآن عدداً واحداً من النوترينوات ومن مضاداتها ومن الفوتونات. وسنرى في الفصل التالي أن الاعتقاد بأن هذا ما حدث فعلاً هو أمر معقول. ولكن لا تبدو في القريب المنظور بارقة أمل واحدة في ملاحظة عدد النوترينوات ومضاداتها التي تحيط بنا.

وإليكم الآن ملخص وصفتنا («للطبخة» الكونية) في بداية الكون مع كل مكوناتها: خذوا مقابل كل فوتون شحنة مساوية للصفر، وعدداً باريونياً يساوي ١ لكل مليار فوتون، وعدداً ليبتونياً غير محدد (ولكنه صغير) مقابل كل فوتون. اضبطوا درجة الحرارة بحيث تظل في كل لحظة أعلى من ٣ درجات كلفن للخلفية الإشعاعية الحالية، بل وأعلى منها بنسبة قدر الكون الحالي إلى قدره في تلك اللحظة. حركوا الخليط تحريكاً جيداً حتى يصبح التوزيع التفصيلي لمختلف أنماط الجسيمات ممكناً تعيينه بشروط التوازن الحراري. ضعوا كل هذا في كون يتوسع بحيث تكون سرعة توسعه محكومة بحقل الثقالة الناشىء عن مركزه. والآن لا بد أن هذا الخليط سيعطيكم بعد مدة كافية كوننا الحالي.

الفصل الخامس

الدقائق الثلاث الأولى

لقد أصبح كل شيء جاهزاً الآن لمتابعة مجرى التطور الكوني على مدى دقائقه الثلاث الأولى: في البدء يسير كل شيء بسرعة، فليس يعنينا إذاً أن نعرض صوراً تفصل بينها أزمنة متساوية (كما هو الحال عادة في فيلم سينمائي). وبدلاً من ذلك سأضبط سرعة فيلمنا على هبوط درجة حرارة الكون، وسأوقف آلة العرض في كل مرة تهبط فيها درجة الحرارة إلى ثلث ما كانت عليه تقريباً.

ويستحيل علي للأسف أن أبدأ الفيلم في اللحظة صفر وفي درجة حرارة غير منتهية، ففوق درجة حرارة العتبة ١٥٠٠ مليار درجة كلفن (١,٥ × ١٠^١٢ ° ك) كان الكون يحوي عدداً كبيراً من الجسيمات التي تدعى ميزونات بي. وهذه الجسيمات كتلتها تساوي تقريباً ١/٧ كتلة الجسيمات النووية (انظر جدول «خواص بعض الجسيمات الأولية». والميزونات بي، خلافاً للإلكترونات والبوزيترونات والمويونات والنوترينوات، يتبادل بعضها التأثير مع بعض ومع الجسيمات النووية بقوة شديدة جداً. والحقيقة، إن الجسيمات النووية تتبادل الميزونات بي فيما بينها باستمرار، وهذا التبادل هو المسؤول أساساً عن قوى الجذب الذي يؤمن تماسك النوى الذرية. فوجود عدد كبير من الجسيمات التي تتبادل التأثير فيما بينها بمثل هذه القوة، يجعل تقدير سلوك المادة في درجات حرارة على هذا الارتفاع أمراً في غاية الصعوبة. فلكي أتجنب مسائل رياضية هي على هذا القدر من التعقيد، سأبدأ قصتنا عند

حوالي جزء المئة الأولى من الثانية بعد البدء، أي عندما هبطت درجة الحرارة إلى مئة مليار درجة كلفن وحسب، وهذه الدرجة أقل من درجة حرارة العتبة للميزونات بي والمويونات وكل الجسيمات الأثقل منها. وفي الفصل السابع سأتحدث قليلاً عما يمكن أن يكون قد جرى بالقرب من البداية نفسها، مهتدياً في ذلك بالفيزياء النظرية الراهنة.

والآن، ضمن هذه الشروط، سأبدأ عرض الفيلم.

السوية الأولى[١]: درجة حرارة الكون مئة مليار درجة كلفن ($١٠^{١١}$° ك). يمكن وصف الكون في هذه الحالة ببساطة وسهولة لا تدانيها فيهما مرحلة تالية على الإطلاق. فالكون مليء بحساء غير مميز من المادة والإشعاع، وكل جسيم يتعرض لصدمات سريعة جداً مع الجسيمات الأخرى. **وهكذا** فإن الكون على الرغم من سرعة توسعه، هو في حالة قريبة من التوازن الحراري التام. فمحتواه يتعين إذاً بحسب قوانين الميكانيك الإحصائي، ولا يتوقف **بشكل** من الأشكال على ما حدث قبل هذه السوية. وكل ما علينا أن نعرفه، هو أن درجة الحرارة تبلغ $١٠^{١١}$ درجة كلفن، وأن المقادير المصانة ـ الشحنة الكهربائية، والعدد الباريوني، والعدد الليبتوني ـ كانت صفراً تقريباً.

إن الجسيمات الأكثر عدداً، كانت تلك التي درجة حرارة عتبتها أدنى من $١٠^{١١}$ درجة كلفن، فهي الإلكترونات وجسيماتها المضادة (البوزيترونات) (درجة عتبتها ٦ مليار كلفن)، وطبعاً الجسيمات التي لا كتلة لها، أي الفوتونات والنوترينوات ومضاداتها (انظر جدول «خواص بعض الجسيمات الأولية»). وكان الكون من الكثافة بحيث أن النوترينوات نفسها، التي يمكن أن تتابع السير سنوات في الرصاص دون أن تنحرف، كانت باقية على حالة التوازن الحراري مع الإلكترونات والبوزيترونات والفوتونات، وذلك نتيجة

---

(١) يعني سوية درجة الحرارة (أو مستوى لقطة من لقطات المشاهد التي سيعرضها. وهذا التعبير شائع في صناعة السينما عند التصوير)

(المترجم).

لصدمات سريعة مع هذه الجسيمات. (وأكرر القول أنني عندما أتحدث عن نوترينوات فإنما أعني أحياناً النوترينوات ومضاداتها).

شيء آخر يسهل علينا الوصف، وهو أن درجة الحرارة ١٠^١١ك هي أعلى جداً من درجة حرارة العتبة للإلكترونات والبوزيترونات. وينجم عن ذلك أن هذه الجسيمات وكذلك الفوتونات والنوترينوات، تسلك بالضبط سلوك مختلف أشكال الإشعاع (نظراً لكبر سرعتها وبالتالي طاقتها الحركية). ولكن أشكال الإشعاع هذه المختلفة، ما كثافة طاقتها؟ إن الإلكترونات والبوزيترونات كما يتبين لنا من جدول خواص الجسيمات، تساهم جميعاً في كثافة طاقة تساوي ٧/٤ كثافة طاقة الفوتونات. والنوترينوات ومضاداتها تساهم بالكمية ذاتها كالإلكترونات والبوزيترونات. فكثافة الطاقة الكلية إذاً أكبر من كثافة طاقة الإشعاع الكهرطيسي الصرف (الفوتونات) بنسبة تساوي:

$$\frac{٩}{٢} = ١ + \frac{٧}{٤} + \frac{٧}{٤}$$

ويعطينا قانون ستيفان ـ بولتزمان (انظر الفصل الثالث) من أجل إشعاع كهرطيسي في درجة الحرارة ١٠^١١ درجة كلفن، كثافة في الطاقة مقدارها ٤,٧٢ × ١٠^٤٤ إلكترون فولت في الليتر. فكثافة الطاقة الكلية في الكون عند درجة الحرارة هذه، كانت إذاً $\frac{٩}{٢}$ من هذه القيمة، أي ٢١ × ١٠^٤٤ إلكترون ـ فولت في الليتر. وهذه الطاقة في الليتر تكافىء كثافة في الكتلة مقدارها ٣,٨ مليار كيلو غرام في الليتر، أو ٣,٨ مليار مرة من كثافة الماء في الظروف الأرضية النظامية. (عندما أقول إن طاقة ما تعادل كتلة، أعني بذلك طبعاً أن هذه الطاقة هي التي تنطلق اعتماداً على دستور اينشتين $E = mc^2$ فيما لو تحولت هذه الكتلة كلياً إلى طاقة). ولو كانت قمة إفرست مكونة من مادة بمثل هذه الكثافة لسحقت الأرض بجاذبيتها التثاقلية.

كان الكون خلال هذه المرحلة يتوسع ويبرد بسرعة. وسرعة توسعة مرهونة بشرط، وهو أن كل قسم من الكون كان يبتعد عن أي مركز (نختاره كيفما اتفق) بسرعة هي سرعة انطلاقه. هذه السرعة (سرعة الانطلاق) كانت

مـرتفعة بنسبـة عِظَم الكثـافة التي كـانت سائـدة في السويـة الأولى ـ إن المدة المميزة لتوسـع الكون هي تقـريباً ٠,٠٢ ثـانية (انـظر الملحق الريـاضي ٣). ويمكن أن نعطي تعريفاً فضفاضاً «للمدة المميزة للتوسع» بأنها هي مئة مثل من الـزمن الذي يـزيد فيـه قدر الكـون ١٪. أو بتحديـد أكثر، إن المـدة المميـزة للتوسع في لحظة ما، هي مقلوب قيمة ثابت هبـل في هذه اللحـظة[1]. وعلى نحو ما رأينا في الفصل الثالث، فإن عمـر الكون أقـل دائماً من المـدة المميزة لتوسعه، لأن هذه المدة تبطؤ باستمرار بفعل الثقالة.

في فترة السوية الأولى، لم يكن يوجد سوى عـدد قليل من الجسيمـات النووية: بروتون واحد أو نوترون واحد تقريباً مقابل كل مليار فوتون أو إلكترون أو نـوترينـو. ولكي يكون بمقـدورنا التنبؤ بـوفرة مختلف العنـاصر الكيميـاويـة المشكلة في بداية الكون، علينا أن نعرف أيضاً نسب البروتونـات والنوتـرونات بالنسبة لبقيـة الجسيمات الأوليـة. والنوتـرون أثقل من البـروتون، والفـرق بين كتلتيهما هو ١,٢٩٣ مليون إلكترون ـ فولت. إلا أن الطاقة المميزة للإلكترونات والبوزيترونات إلخ، في درجـة الحرارة ١٠^١١ ك هي أكبـر من ذلك بكثيـر، إذ تقرب من ١٠ مليون إلكترون فولت (وتنتج من ضرب ثابت بولتزمان في درجـة الحـرارة). وهكذا فـإن اصطدام البـروتونـات والنوتـرونات مـع الإلكتـرونـات والبـوزيترونـات إلخ بكثـرة، سيحدث تحـولات سريعـة من البـروتـونـات إلى النوترونات والعكس بالعكس. فكانت أهم التفاعلات:

ـ نوترينـو مضاد زائـد بروتـون يعطي بـوزيترون زائـد نوتـرون (والعكس بالعكس).

ـ نوترينو زائد نوترون يعطي إلكترون زائد بروتون (والعكس بالعكس).

---

(١) إن المدة المميزة لتوسع الكون في لحظة ما، هي المدة اللازمة لـه كي يتضاعف قـدره فيما لـو ثبتت سرعته التي اكتسبها حتى هذه اللحظة. فالمدة المميزة لتوسع الكـون هي نسبة قـدره في تلك اللحظة إلى سرعتـه، ولكن هذه النسبـة هي مقلوب ثابت هبـل، أو هي مئة مثـل من مدة توسع قدره ١٪ من قدر الكون فيما لو اعتبرنا أن السرعـة لا تتغير كثيـراً في توسـع صغير قـدره ١٪ (المترجم.

وبحسب فرضيتنا التي تقول إن العدد الليبتوني الكلي والشحنة الكلية، المقابلين لكل فوتون، هما صغيران جداً، يجب أن يوجد من النوترينوات على قدر ما يوجد تقريباً من أضدادها، ومن البوزيترونات على قدر ما يوجد تقريباً من الإلكترونات، بحيث أن سرعة التحولات من بروتونات إلى نوترونات تعادل سرعة التحولات المعاكسة. (ربما كان التفكك الإشعاعي للنوترون غير وارد، لأنه يستغرق ١٥ دقيقة تقريباً، في حين أننا نعمل هنا عل صعيد زمن لا يعدو جزءاً من مئة من الثانية). وتتطلب شروط التوازن الحراري في هذه الحالة أن يكون عدد البروتونات وعدد النوترونات متساويين تقريباً خلال هذه السوية. وكانت هذه الجسيمات النووية ما تزال غير مرتبطة في نواة ذرية، إذ إن الطاقة اللازمة لانتزاع بروتون أو نوترون من نواة نموذجية، محصورة بين ٦ و ٨ مليون الكترون فولت، وهذه الطاقة أقل كثيراً من الطاقات المميزة لدرجة الحرارة $١٠^{١١}$ درجة كلفن، بحيث أن النوى المركبة سرعان ما يتهدم بنيانها حال تكوينها.

من الطبيعي أن نتساءل عن قدر الكون في بدايته الأولى. ولكننا للأسف لا نملك أي مؤشر حول هذه النقطة، بل لسنا على يقين من أن لهذا السؤال معنى ما. إذ رأينا في الفصل الثاني أن الكون يمكن أن يكون غير منته الآن، فالكون والحالة هذه كان كذلك في الفترة التي تمثلها السوية الأولى، وسيظل كذلك دائماً. ومن الجائز أن للكون محيطاً منتهياً، ويقدر أحياناً هذا المحيط بـ ١٢٥ مليار سنة ضوئية (نعني بالمحيط، المسافة التي يجب سيرها في خط مستقيم قبل العودة إلى نقطة البدء. ويستند هذا التقدير إلى قيمة ثابت هبل الحالية و إلى فرضية أن كثافة الكون تقرب من ضعف الكثافة الحرجة). ولما كانت درجة حرارة الكون تنقص بتناسب عكسي مع قدره، فمحيطه خلال السوية الأولى من فيلمنا كان أصغر مما هو حالياً بنسبة تساوي نسبة درجة الحرارة في ذلك الحين ($١٠^{١١}$ ك) إلى درجة الحرارة الحالية (٣° ك). وهكذا نجد أن محيط الكون في السوية الأولى كان قريباً من ٤ سنوات ضوئية. ولكن تفاصيل قصة التطور الكوني في الدقائق المعدودة الأولى، لا تتوقف على

معرفتنا أن محيط الكون كان غير منتهٍ أو لم يتجاوز بضع سنوات ضوئية.

السوية الثانية: درجة حرارة الكون ٣٠مليار درجة كلفن (٣×١٠^{١٠} °ك)، وقد مرت حتى هـذه السويـة فترة ١١,٠ من الثـانية. لم يتغيـر شيء من حيث الكيف. فـالقسم الأعظم من محتـوى الكون هـو إلكترونـات وبـوزيتـرونـات، ونوترينوات ومضاداتها، وفوتونات. وهذه كلها في حـالة تـوازن حراري، وهي جميعها فوق درجة حرارة عتبتها بفارق كبير. وعلى هذا، نقصت كثـافة الـطاقة متنـاسبة مـع القوة الـرابعة لـدرجة الحـرارة، أي هبطت إلى مـا يقرب من ٣٠ مليون مرة من كثافة الطاقة المحتـواة في كتلة السكون للمـاء العادي. ونقصت سرعة التوسع متناسبة مع مربع درجة الحرارة، بحيث أن المدة المميزة لتوسـع الكون طالت حتى بلغت الآن ٢,٠ ثانية. والجسيمـات النوويـة ما زالت قليلة العدد، وهي دائماً غير مرتبطة في نوى ذريـة. ولكن مع هبـوط درجة الحـرارة أصبح تحول النـوترونـات (الأثقل) إلى بـروتونـات (أخف) أسهل من التحـول العكسي. فنسبـة توافـر كـل من هـذين النـوعين من الجسيمـات على التـوالي تغيرت إذاً، وأصبح يوجد ٣٨٪ نوترونـات مقابـل ٦٢٪ بروتـونات (بينمـا كانـا متساويين في السوية الأولى).

السوية الثالثة: درجة حرارة الكـون ١٠ مليار درجـة كلفن ($١٠^{١٠}$ °ك)، وقد مر منذ بدء الكون ٠٩,١ ثانية. خلال هـذا الزمن نقصت الكثـافة ودرجـة الحرارة، وازدادت مدة **متوسط السير الحر للنوترينوات ومضاداتها**، حتى أنهـا بـدأت تسلك سلوك جسيمات حـرة، ولم تعـد في حـالـة تـوازن حـراري مـع الإلكترونات والبوزيترونات والفوتونات، فهي لن تلعب بعد الآن دوراً فعالاً في قصتنا إلا اللهم طاقتها التي ستظل أحد مصادر حقل الثقالة الكونيـة، ولا شيء أساسياً غير ذلك بعدما تركت حالة التوازن الحراري. (قبل هـذا «الانفصال»، كانت الأطوال الموجية النموذجية للنوترينوات متناسبة عكساً مع درجة الحرارة، وهذه الأخيرة نفسها كانت تتناقص متناسبة عكساً مع قدر الكون، فأطوال موجة النوترينوات كانت تتزايد إذاً متنـاسبة طـرداً مع قـدر الكون. أمـا بعد انفصـالها (أي النوترينوات)، فستتابـع توسعهـا حرة طليقـة، ولكن الانحراف العـام نحو

الأحمر سيطيل موجاتها بتناسب طردي مع قدر الكون. وهنا نرى أن تعيين لحظة الانفصال بدقة ليس أمراً ذا شأن كبير، وهذا أمر لصالحنا، لأنه يتعلق بتفصيلات حول نظرية النوترينوات التي ما زالت معرفتنا بها قاصرة).

إن كثافة الطاقة الكلية (في هذه السوية) هي أقل مما كانت في السوية السابقة بنسبة القوتين الرابعتين لدرجتي حرارة السويتين، بمعنى أنها الآن تساوي ٣٨٠٠٠٠٠ مرة من كثافة كتلة الماء. **واستطالت** المدة المميزة لتوسع الكون تبعاً لذلك فبلغت ما يقرب من ثانيتين[1]. ودرجة الحرارة الآن، هي ضعفا درجة حرارة العتبة للإلكترونات والبوزيترونات، فهذه الجسيمات تبدأ إذاً بالتفاني بسرعة أكبر من أن يتاح لها التولد من الإشعاع.

ولا زال الكون حاراً بالنسبة إلى البروتونات والنوترونات، فهي لا يمكن أن تظل مرتبطة في نوى ذرية خلال زمن ملموس. ولكن هبوط درجة الحرارة أتاح الفرصة لانحراف نسبة البروتونات والنوترونات، إذ يوجد الآن (في هذه السوية) ٢٤٪ نوترونات و ٧٦٪ بروتونات. (نظراً لتفكك النوترونات إشعاعياً).

السوية الرابعة: إن درجة حرارة الكون الآن هي ٣ مليارات درجة كلفن (٣×١٠^٩ ك)، وقد مرت منذ السوية الأولى ١٣,٨٢ ثانية. فنحن الآن دون درجة حرارة عتبة الإلكترونات والبوزيترونات (٦ مليار كلفن) وستبدأ هذه إذاً بالاختفاء بسرعة، ولن تغدو بعد الآن مكوناً أساسياً للكون. أما الطاقة المحررة من تفانيها فتأخذ في إبطاء ابتراد الكون، بحيث أن النوترينوات التي لن تربح شيئاً من هذا الفائض الحراري، ستكون درجة حرارتها أقل من الإلكترونات والبوزيترونات والفوتونات بنسبة ٨٪. ومنذ الآن سنتحدث عن «درجة حرارة الكون» بالنسبة إلى درجة حرارة الفوتونات. ومع اختفاء الإلكترونات

---

(١) إن النسبة الصحيحة لمدتي التوسع هي نسبة مربعي درجتي الحرارة. ونظراً إلى أن درجة الحرارة أصبحت ثلث ما كانت عليه فمدة التوسع أصبحت ٠,٢ × ٩ = ١,٨ أو تقريباً ٢ ثانية (المترجم).

والبوزيترونات بسرعة، تصبح كثافة الطاقة الكونية أقل بقليل مما كانت ستؤول إليه لو أنها ظلت تتناقص متناسبة مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة.

لقد أصبح الكون بارداً الآن برودة تكفي لأن يتاح لمختلف النوى المستقرة كنواة الهيليوم (He 4) أن تتكون، ولكن لن يحدث ذلك مباشـرة. والسبب في ذلك هو أن توسع الكون ما زال يتابع مسيرته بسرعة، حتى أن النـوى لا يمكن أن تتشكل إلا بتفاعلات متتابعـة سريعـة بين جسيمين. فمثلاً، يمكن لبـروتون ونوترون أن يشكلا نواة هيـدروجين ثقيل دوتريوم، وينطلق فوتون حاملاً الطاقـة والانـدفاع الفـائضين. ونواة الـدوتريـوم هذه يمكن أن تتعـرض لاصطدام مـع نوترون أو بروتون لتكون: إما نواة النظير الأثقل للهيدروجين والمسمى تريتيـوم (H 3). وهو مكـون من بروتون ونوترونين،وإمـا نواة النـظير الخفيف للهيليـوم He 3 المكون من بروتونين ونوترون واحد. وأخيراً يمكن للهيليوم ٣ أن يدخل في تصـادم مع نـوترون، أو للتـريتيوم مـع بروتـون، ليكونـا نواة هيليـوم عادي (He 4) المكون من بروتونين ونوترونين. ولكن لكي تحدث هـذه السلسلة من التفاعلات لا بد أن تبدأ بمرحلتها الأولى وهي تكون الدوتريوم.

إن نواة الهيليوم العادي في الكون الذي نعرفه، مرتبطة أجزاؤها بمتانـة، ويمكنهـا إذاً ـ كما قلت سـابقاً ـ أن تحـافظ على ترابـطهـا في درجـة الحـرارة السائدة خلال فترة السوية الثالثة. أما التريتيوم والهيليوم ٣، فهما أقل تمـاسكاً بكثير، وخاصة الدوتريوم، فهو هش سهل التفكك. (لتحطيم نواة الدوتـريوم، يلزمنـا من الطاقـة أقل ممـا يلزم لانتزاع جسيم نـووي من نواة الهيليـوم بثلاث مـرات). وفي درجـة الحـرارة ٣ × ١٠^٩ درجـة كلفن التي تسـود في السـويـة الرابعة، تتحطم نوى الدوتريوم حالما تتكون، والنوى الأثقل من ذلك ليس لها أي حظ في التكون. وهكذا تتابع النوترونات تحولها إلى بروتونات، وإن كـان ذلـك يتم بسرعـة أقل ممـا كان عليـه، ويـوجـد الآن ١٧٪ نـوتـرونـات و ٨٣٪ بروتونات.

السـوية الخـامسة: إن درجـة الحـرارة الآن تسـاوي مليـار درجـة كلفن

(١٠^٩ ك) أي أشد حرارة من مركز الشمس بسبعين ضعفاً. ومرت ثلاث دقائق على ابتداء الكون. معظم الإلكترونات والبوزيترونات اختفت من الكون، وأصبح هذا مكوناً الآن بشكل رئيسي من الفوتونات والنوترينوات ومضاداتها. ورفعت الطاقة المحررة من تفاني الإلكترونات والبوزيترونات درجة حرارة الفوتونات بنسبة ٣٥٪ بالنسبة إلى درجة حرارة النوترينوات.

إن الكون بارد الآن برودة تكفي لأن تصبح نوى التريتيوم والهيليوم ٣ وكذلك نوى الهيليوم العادي، مستقرة. ولكن «المماحكة» داخل الدوتريوم لا تنتهي، إذ إن نوى الدوتريوم لا تظل متماسكة مدة تكفي لأن تساعد على تشكل عدد ذي شأن من نوى أثقل منها. كما توقف الآن اصطدام النوترونات بالبروتونات، والإلكترونات والنوترينوات بمضاداتها، ولكن تفكك النوترونات الحرة بدأ يأخذ الآن أهمية أكبر، فكلما مرت ١٠٠ ثانية يتفكك ١٠٪ مما بقي من النوترونات ويتحول إلى بروتونات. وأصبحت النسبة نوترونات ـ بروتونات هي ١٤٪ نوترونات و ٨٦٪ بروتونات.

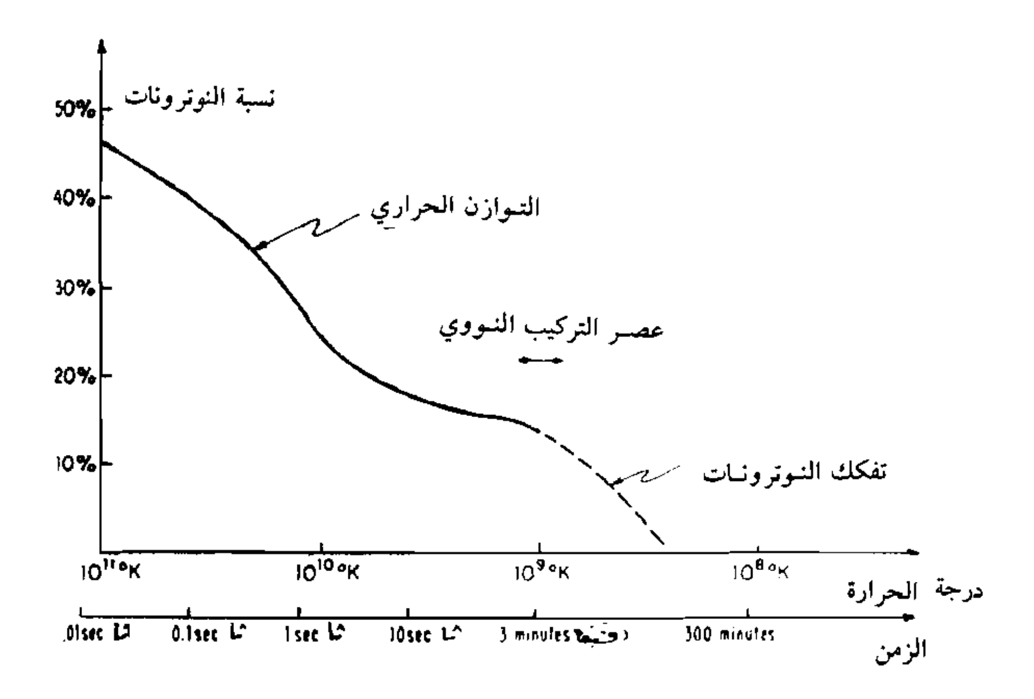
بعد زمن قصير: بعد السوية الخامسة بزمن قصير حدثت مأساة. إذ حالما ينقضي زمن «المماحكة» داخل الدوتريوم، تأخذ نوى أثقل بالتشكل بسرعة كبيرة مبتدئة من سلسلة تفاعلات جسيمين التي مر ذكرها في السوية الخامسة. إلا أن مماحكات أخرى تمنع النوى الأثقل من الهيليوم من أن تتشكل بأعداد كبيرة، إذ لا توجد بعد، نوى مستقرة تحوي خمس جسيمات نووية أو ثمان، بحيث أنه حالما تصل درجة الحرارة إلى عتبة تكوُّن الدوتريوم، يدخل سائر ما تبقى من النوترونات في تركيب نوى الهيليوم. ودرجة الحرارة الدقيقة التي يحدث فيها ذلك، ترتبط نوعاً ما بعدد الجسيمات النووية المقابلة لكل فوتون. ذلك لأن الكثافة المرتفعة للجسيمات تسهل تشكيل النوى (وهذا ما دعاني لأن لا أعطي تسمية محددة لهذه اللحظة، بل قلت «بعد زمن قصير» من السوية الخامسة).

في حالة مليار فوتون مقابل كل جسيم نووي، يبدأ التركيب النووي

بالعمل في درجة ٩٠٠ مليون درجة كلفن (٩,٠ × ١٠^{٩} ك) وحتى يبلغ الكون هـذه السويـة، يكون قـد انقضى منذ السـوية الأولى مـدة ثـلاث دقـائق وست وأربعين ثانية (وهنـا، أرجو من القـارىء أن يعذرني على التسميـة غير الـدقيقة للكتاب «الدقائق الثلاث الأولى». ولكن مـا العمل! فهـذا العنوان لـه رنة على الأذن لا تعـدلها رنـة عنـوان: «الـدقـائق الثـلاث وثـلاثـة أربـاع الأولى») ومن المفروض أن تفكك النوترونات، كان قد أدى، قبل بـدء التركيب تمـاماً، إلى نسبة ١٣٪ للنوترونات و ٨٧٪ للبـروتونـات. وبعد التـركيب النووي، أصبحت نسبة ثقل الهيليوم تساوي بالضبط نسبة نقل الجسيمات النووية كلهـا المرتبـطة في نوى الهيليوم، هذا مع مـراعاة أن نصف هـذه الجسيمات هـو نوتـرونات. والنوترونات جميعها تقريباً مرتبطة في نـوى الهيليوم. فنسبـة ثقل الهيليـوم هي وضوحاً ضعفـا نسبـة النـوتـرونـات، فهي تســاوي بـالتـــالي ٢٦٪ (لأن نسبـة النوترونات هي ١٣٪). ولو أن كثافة الجسيمات النوويـة كانت أعلى من ذلـك بقليل، لبدأ التركيب النووي مبكـراً قليلاً عن ذلـك، وحينذاك يبقى عـدد أكبر من النوترونات الحرة التي لم تتفكك، وفي هذه الحالة يصبـح تشكل الهيليـوم أكثر قليلاً، ولكنه على الأرجح لن يتجاوز ٢٨٪ من الثقل الكلي (انظر الشكل ٩).

لقـد وصلنا الآن إلى نهـاية المـدة المقررة للعـرض، لا بل تجـاوزناهـا بقليل. ولكن لكي نتبين جيداً ما جرى، يحسن بنـا أن نلقي نظرة أخيـرة على الكون بعد هبوط آخر لدرجة الحرارة.

السـويـة السـادسـة: أصبحت درجة الحـرارة الآن ٣٠٠ مليـــون كلفن (٣ × ١٠^{٨} ك)، وقد مر على السوية الأولى ٣٤ دقيقة و ٤٠ ثانية. الإلكترونات والبـوزيترونـات تفانت كلهـا الآن ما عـدا فائضاً صغيـراً (واحـد من مليـار) من الإلكترونات بقي يكافيء شحنة البروتونات الكهربـائية. والـطاقة المحـررة من هذا التفاني ساعدت على إبقاء درجة حرارة الفوتـونات أعلى نهـائياً من درجـة حـرارة النوتـرينوات بنسبـة ١,٤٠ ٪ (انظر الملحق الـريـاضي ٦). إن كثـافة الطاقة الكونية هي الآن مكـافئة لـ ٩,٩ ٪ من كثـافة كتلة المـاء، وهناك ٣١ ٪



شكل (٩) نسبة (النوترونات إلى البروتونات) المتغيرة.

يمثل هذا المخطط نسبة النوترونات بين مجموعة الجسيمات النووية بدلالة درجة الحرارة والزمن. إن قسم المنحني المشار إليه بعبارة «توازن حراري» يصف الفترة التي كانت فيها الكثافة ودرجة الحرارة مرتفعة إلى درجة أن التوازن الحراري بين مختلف الجسيمات ظل قائماً. وفي هذا المجال من المنحني، يمكن حساب وفرة النوترونات من فرق كتلة النوترون والبروتون، وذلك بالاستفادة من الميكانيك الإحصائي. وقسم المنحني المشار إليه بعبارة «تفكك النوترونات» يصف الفترة التي توقفت فيها سائر عمليات تحول النوترونات إلى بروتونات، باستثناء تفكك النشاط الإشعاعي للنوترون الحر. وقسم المنحني الموافق لهذا النوع من التفكك يتعلق بالحساب التفصيلي لنسب التحول نتيجة تبادل التأثير الضعيف. القسم المنقط يرينا ما كان سيحدث لو أن النوى منعت (على سبيل الافتراض) من التشكل. والحقيقة، إن هناك لحظة من الفترة المشار إليها بسهم وعبارة «عصر التركيب النووي» تتجمع فيها النوترونات بسرعة على شكل نوى الهيليوم، والنسبة نوترونات - بروتونات تجمد على قيمتها التي اكتسبتها في هذه اللحظة. ويمكن استخدام هذا المنحني أيضاً لتقدير نسبة وزن الهيليوم المتولد كونياً، وعند كل درجة حرارة من عصر التركيب النووي. إن هذه النسبة تساوي بالضبط ضعفي نسبة النوترونات في درجة الحرارة نفسها. .

من هذه الكتلة هو على شكل نوتـرينوات ومضـاداتها، و ٦٩ ٪ هـو على شكل فوتونات. وتعطي هذه الكثافـة للكون مـدة مميزة لتـوسعه تسـاوي ساعـة وربع تقـريباً. لقـد توقفت التفـاعلات النـوويـة، إذ إن معـظم الجسيمـات النـوويـة أصبحت الآن مـرتبـطة في نـوى الهيليـوم، أو هي بـروتـونـات حـرة (نـوى هيـدروجين) ونسبـة وزن الهيليـوم محصـورة بين ٢٦ و ٢٨ ٪ تقـريبـاً. وهنـاك إلكترون مقابل كل بروتون حـر أو مرتبط. ولكن الكـون ما زال إلى الآن حـاراً بحيث لا يمكن للذرات المستقرة أن تحافظ على إلكتروناتها.

يستمر ابتراد الكـون وتوسعـه، ولكن لا يحدث الآن حـدث هام يستحق الذكر قبـل ٧٠٠٠٠٠ سنة، وهـو الزمن الـلازم لكي تهبط درجة الحـرارة إلى نقـطة يمكن فيهـا لـلإلكتـرونـات والنـوى أن تشكـل ذرات مستقـرة. واختفـاء الإلكتـرونات النـاتجة عن ذلـك، يجعل محتـوى الكون عنـدئـذ شفـافـاً أمـام الإشعاع. وهذا الانفصـال بين المادة وبين الإشعـاع يفسح المجـال للمجرات والنجوم أن تبدأ بالتكون. وبعد ١٠ مليارات سنة تقريباً تبدأ كائنات حية بإعادة تأليف هذه القصة من جديد.

لقد أدت مجريات الحوادث في بداية التاريخ الكوني إلى نتيجة يمكن تحققها مباشرة بالمشاهدة، وهي أن المواد التي خلفتها الدقائق الثـلاث الأولى من هذا التاريخ، والتي تشكلت منها النجوم في بادىء الأمر، كانت تتـألف من الهيليوم بنسبة ٢٢ إلى ٢٨٪ والباقي من الهيدروجين. وقد رأينا أن هذه النتيجة تقوم على فرضية أن الفوتونات هي أكثـر عدداً بشكـل ملحوظ من الجسيمـات النووية، وهذه الفرضية ترتكز بدورهـا على قياس درجـة الحرارة الحـالية وهي ٣° ك من أجـل الخلفية الكـونية لإشعـاع الراديـو. وكان أول من قـام بحساب الإنتاج الكوني من الهيليـوم هو ب. ج. إ. بيبلز من جـامعة بـرنستون (وكـان ذلك عام ١٩٦٥ بعد اكتشاف بنزياس وويلسون للخلفية الراديوية بقليل) وذلك لتفسير قياس درجة الحرارة هذه. وهذه النتيجة نفسها أمكن الحصول عليها في آن واحد تقريباً وبمعزل عن الأولى، بحسابات أقوى إعداداً، قـام بها روبـرت واغونير ووليم فاولر وفرد هويـل. وهي تعد نجـاحاً سـاطعاً للنمـوذج القياسي،

ذلك لأن البعض كان قد قدّر في هذه الفترة وباستقلال تام عن الأعمال السابقة أن الشمس والنجوم الأخرى تتكون مبدئياً من الهيليوم بنسبة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠٪.

والهيليوم طبعاً عنصر نادر على الأرض، ولكن يمكن تعليل ذلك بخفة ذراته وبعطالتها الكيمياوية التي ساعدتها على الإفلات من جاذبية الأرض منذ زمن طويل. إن تقديراتنا لوفرة الهيليوم في بداية الكون تقوم على المقابلة بين حسابات مفصلة أجريت حول تطور النجوم، وبين المشاهدة المباشرة لخطوط الهيليوم في أطياف النجوم الحارة والمادة بين النجمية. والحقيقة أن الهيليوم، كما يدل عليه اسمه، سبق تحديد هويته على أنه عنصر كيماوي لأول مرة من قبل ج. نورمان لوكير J. Norman Lockyer عام ١٨٦٨ في دراسة طيف الجو الشمسي.

وقد لاحظ بعض الفلكيين في بداية الستينات أن الهيليوم الموجود في مجرتنا ليس وفيراً وحسب، بل إن وفرته هذه لا تتغير مع تغير المنطقة المجرّية المرصودة، أي أنه بخلاف ما يلاحظ بالنسبة للعناصر الأثقل منه. وهذا طبعاً ما يجب أن نتوقعه إذا كانت العناصر الأثقل منه قد أنتجت في النجوم بينما أنتج الهيليوم في بداية الكون وقبل أن تبدأ أي شمس تحضير منتجاتها. والحقيقة، لا زال هناك غير قليل من الارتياب والتبدل في تقديراتنا للغزارة النووية، ولكن الحجج الداعمة لوفرة ابتدائية بنسبة محصورة بين ٢٠ و ٣٠٪ للهيليوم هي حجج تكفي قوتها لأن تشجع بشدة جانب الآخذين بالنموذج القياسي.

وعلاوة على كمية الهيليوم الكبيرة المنتجة في نهاية الدقائق الثلاث الأولى، كانت هناك بعض الآثار للنوى الأخف منه، وخاصة الدوتريوم (هيدروجين له نوترون إضافي) والنظير الخفيف للهيليوم (أي He3) الذي لم يشارك في تكوين نوى هيليوم عادي (لقد حُسّب وفرة هذين النظيرين على التوالي، لأول مرة، فاغونير وفاولر وهويل وذلك في مقالة نشرت عام ١٩٦٧).

إن وفرة الدوتريوم، خلافاً لوفرة الهيليوم، تتأثـر جداً بكثافة الجسيمات النوويـة لحظة التركيب النووي، إذ إن التفاعلات النووية كانت أسرع حين كانت هذه الكثافة أكبر، وكل الـدوتريـوم تقريبـاً «طبخ» على شكـل هيليوم. ولكي أكـون أكثر دقة ووضوحاً، سأعطي هنا قيم وفرة الدوتريوم (بنسبة الـوزن) المنتجة في بداية الكون. وكان واغونير قـد حسب هذه الـوفرة من أجـل ثلاث قيم محتملة للنسبة فوتون جسيمات نووية (أي عدد الفوتونات مقابل كل جسيم).

فوتونات/جسيمات نووية	وفرة الدوتريوم (بالمليون)
١٠٠ مليون	٠,٠٠٠٠٨
١٠٠٠ مليون	١٦
١٠٠٠٠ مليون	٦٠٠

بقول آخر، إذا استطعنا أن نعين وفرة الدوتريوم في البدء، وقبل أن يبـدأ «المطبخ» النجومي، عندئذ نصبح قادرين على حساب قيمة النسبة فوتون ـ جسيم نووي، بدقة، إذ من معرفتنـا أن درجة حـرارة الإشعاع تبلغ ٣ درجـات كلفن، سنعـرف بالضبط كثـافة الكتلة النـووية الحـالية للكـون، وهكذا تحسم مشكلة إغلاق الكون وهل هو مفتوح أم مغلق؟.

ولكن تبين للأسف أن تحديد وفرة الدوتريوم في البدء أمـر صعب جداً، إن القيمـة المتعارف عليهـا عن وفرة الـدوتريـوم بالـوزن في ماء البحـر تساوي ١٥٠ جزء من مليون (وهذا الدوتريوم هو الذي سيستخدم وقوداً في المفاعلات النووية الحرارية ـ هذا طبعاً إذا أصبـح التحكم في التفاعـلات النوويـة مرضيـاً مقبولاً). ولكن هذا الـرقم محرف[1]، وذلـك لأن الدوتـريوم أثقـل بمرتين من

(١) يعني أنه لا يعطي فكرة صحيحة عن نسبة الدوتريوم السابقة في الكون (المترجم).

الهيدروجين، فهو يوجد في أكثر الأحيان مرتبطاً في جزيء ماء ثقيل (HDO)، بحيث أن نسبة منه أقل من الهيدروجين يمكن أن تتحرر من جاذبية الأرض. هذا، ومن جهة أخرى، يدل التحليل الطيفي على أن وفرة الدوتريوم مجزوءة جداً على سطح الشمس. أقل من ٤ في المليون. وهذه القيمة أيضاً محرفة ـ إن الدوتريوم المتوافر في الطبقات الخارجية من الشمس كان على الأرجح قد تهدم القسم الأعظم منه نتيجة الاندماج مع الهيدروجين ليكونا ذرات الهيليوم الخفيف He^3.

ولكن معرفتنا عن وفرة الدوتريوم في الكون بنيت على أسس أمتن وأصلب، وذلك بفضل ملاحظاتنا للإشعاع فوق البنفسجي التي أنجزت عام ١٩٧٣ من على متن التابع الصنعي **كوبرنيك** الذي وضع في مدار حول الأرض. إن ذرات الدوتريوم، هي على غرار ذرات الهيدروجين، قادرة على امتصاص الضوء فوق البنفسجي الذي له أطوال موجات محددة، وهي الموجات الموافقة للانتقالات التي تستثار فيها الذرة عند انتقالها من حالة الطاقة الأدنى إلى حالات الطاقة الأعلى. وأطوال الموجات هذه ترتبط ارتباطاً خفيفاً بكتلة النواة الذرية، وهكذا فإن النجم الذي يجتاز ضوؤه أوساط الفضاء بين النجوم لكي يصل إلينا، نجد طيفه مقطعاً بعدد من خطوط الامتصاص القاتمة، وكل من هذه الخطوط مشطور إلى مركبتين، واحدة للهيدروجين والأخرى للهيليوم. فالقتامة النسبية لمركبتي خط الامتصاص، تعطينا إذاً الوفرة النسبية للهيدروجين والهيليوم في الغيمة بين النجمية التي يجتازها ضوء الشمس. ولكن الجو الأرضي للأسف يجعل كل ملاحظة فلكية للأشعة فوق البنفسجية من على سطح الأرض أمراً مستحيلاً. لذلك كان التابع الصنعي كوبرنيك يحمل معه مطيافاً فوق بنفسجي، وقد استعمل هذا المطياف لدراسة خطوط الامتصاص في طيف النجم الحار بيتا سنطورو. وبعد دراسة الشدة النسبية لهذه الخطوط، أمكن التوصل إلى أن الوسط بين النجمي الذي يحيط ببيتا سنطوروبحوي ٢٠ من مليون (نسبة وزن) من الدوتريوم. وفي أرصاد أحدث عهداً من السابقة، أعطت مشاهدة طيف الامتصاص فوق ـ البنفسجية في أطياف نجوم أخرى نتائج مماثلة لهذه.

وإذا صح أن نسبة الدوتريوم هذه (٢٠ من مليـون) قد أنتجت في بـداية الكون، فذلـك لأنه كـان هناك في ذلـك الحين (ولا يزال) ١,١ مليـار فوتـون بالضبط مقابل كل جسيم نووي (يمكن الرجـوع إلى الجدول السـابق). ونظراً إلى أن درجة الحرارة الحالية هي ٣ درجات كلفن للإشعاع الراديـوي، لذلـك يـوجد ٥٥٠٠٠٠ فـوتون في الليتـر، (راجع الفصـل ٣ ص ٨٧) إذاً يـوجـد حوالي ٥٠٠ جسيم نووي في مليون ليتر. وهذه الكثافة أقل كثيـراً من الكثافـة الدنيا لكون مغلق، إذ رأينا أن هذه الكثافة هي حوالي ٣٠٠٠ جسيم نووي في مليـون ليتر، فعلينـا أن نستنتـج إذاً من ذلـك أن الكـون مفتـوح[١]، بمعنى أن سرع المجرات هي أعلى من سـرع تحررهـا، وأن الكون سيتـابع تـوسعه إلى الأبـد، وإذا كان جـزء من المادة بين النجميـة داخـل النجـوم قـد خضـع إلى معـالجة هـدمت الدوتـريوم (كمـا يحدث في الشمس)، فـإن الإنتـاج الكـوني للدوتـريـوم لا بـد أنـه تجـاوز نسبـة ٢٠ من مليـون التي كشف عنهـا التـابـع كوبرنيك، وكثافة الجسيمات النووية عندئذ لا بد أن تكون أيضاً أدنى من ٥٠٠ جسيم في مليون لتر[٢]، وهذا يدعم النتيجة السابقة، وهي أننا نعيش في كون مفتوح يتوسع إلى الأبد.

أرى لزاماً علي أن أقول إني قليل الاقتنـاع بهذا التفكيـر. إن الدوتـريوم يختلف اختلافاً جيداً عن الهيليوم، فحتى لو كانت وفرته تبدو أكبر شأناً مما قد نتوقعه في كون مغلق كثيف نسبياً، إلا أنـه يظل نـادراً جداً بـالقيمة المـطلقة. ويمكن أن نتخيل أن هذه الكمية من الدوتريوم نتجت عن ظاهرة فيزيائية فلكية

---

(١) هذا طبعاً إذا كانت الكتلة السكونية للنوترينو هي صفر

(المترجم).

(٢) لأن عدد الفوتونات في اللتر في الدرجة ٣ هو ٥٥٠٠٠٠ فوتون، فـإذا صح أن نسبـة الدوتـريوم أكثر من ٢٠٪، فإن عدد الفوتونات المقابل لكل جسيم يكون أكثـر من مليار، وبـالتالي يصبـح عدد الجسيمات النـووية في مليـون لتر أقـل من ٥٠٠، لأنه سينتـج من تقسيم ٥٥٠٠٠٠ على عدد أكبر من مليار.

(المترجم).

«حديثة العهد» ـ كانفجار نجم عملاق (سـوبرنـوفا)، أو أشعـة كونيـة، أو حتى أجرام شبه نجومية. ولكن ليس هذا هو حال الهيليوم، إذ إن نسبـة الـ ٢٠ إلى ٣٠٪ من الهيليـوم ما كـان لها أن تحـدث (في مرحلة متـأخـرة نسبيـاً) دون أن تحرر كمية هائلة من الإشعاع، ونحن لم نلاحظ هذه الكمية. ويعترضون على ذلك بأن نسبـة ٢٠ من مليون من الدوتريوم التي لاحظها التابـع كوبـرنيك (هي أيضاً) لم يكن ممكناً لها أن تتولد بآلية فيزيائية فلكية معروفة دون أن يتولد إلى جانبها كميات كبيرة لا يمكن التسليم بها من العناصر الأخرى الخفيفة النادرة، وهي الليثيوم والبيريليوم والبور. ومع ذلك، لا أرى كيف نستطيع أن نصل إلى يقين قاطع بأن هذا الأثر من الدوتريوم لم يتولد من آليـة غير كـوسمولـوجية لم تخطر بعد ببال إنسان إلى الآن.

ويوجد حـولنا أثـر آخر بـاق منذ بـداية الكـون. وهذا الأثـر، يبدو حتى اللحظة بعيداً جداً عن مدى وسائل الرصد التي في أيدينا. إذ رأينا في السويـة الثـالثة أن النـوترينـوات سلكت سلوك جسيمات طليقـة منـذ أن هبـطت درجـة حرارة الكون إلى ما دون ١٠ مليارات درجة كلفن تقريباً. ومنذ تلك اللحـظة، زادت أطوال موجاتها بتناسب طردي مـع قدر الكون. فعددهـا وتوزعهـا ظلا إذاً مـطابقين لما ستكـون عليه لـو كانت في حـالـة تـوازن حـراري. ولكن درجـة حرارتها نقصت بتناسب عكسي مع قدر الكون. وهـذا ما حـدث ـ مع بعض الاختلاف ـ للفوتونات خلال هذه الفترة نفسها، هذا على الرغم من أن هذه (أي الفـوتونـات) ظلت مدة أطـول بكثيـر من النـوتـرينـوات في حـالـة تـوازن حراري. فدرجة الحرارة الحالية للنوترينـوات يجب أن تكون في مـرتبة درجـة حرارة الفوتونات، ويجب أن يـوجد إذاً حـوالي مليار نـوترينـو ونوتـرينو مضـاد مقابل كل جسيم نووي في الكون.

ويمكن أن نكون أكثر وضـوحاً ودقـة حول هـذه النقطة. فبعـد أن أصبح الكون شفافاً أمام النوترينوات بزمن قصير، بدأت الإلكترونات والبـوزيترونـات بالتفاني، فسخنت بذلك الفوتونـات ولكن ليس النوتـرينوات. وينتج عن ذلك أن درجـة حرارة النـوترينـوات الحاليـة يجب أن تكـون أدنى من درجـة حـرارة

الفوتونات بنسبة تساوي الجذر التكعيبي لـ $\frac{٤}{١١}$ ، أي ٧١,٣٨٪، وعلى هذا فإن مساهمة النوترينوات في طاقة الكون هي مع مساهمة الفوتونات بنسبة ٤٥,١٢٪ (انظر الملحق الرياضي ٦). وعلى الرغم من أنني لم أذكر هذه المساهمة صراحة، إلا أنني أخذتها في الحسبان في كل مرة أعطيت فيها قيمة للمدة المميزة للتوسع.

إن التأكيد القاطع على صحة النموذج القياسي، سيأتي عند اكتشاف هذه الخلفية من النوترينوات. فنحن نستطيع أن نتوقع (سلفاً) درجة حرارتها بيقين، إنها تساوي ٧١,٣٨٪ من درجة حرارة الفوتونات، أي بالضبط ٢ درجة كلفن. ولكن الارتياب النظري الوحيد، الحقيقي، الباقي في تحديد عدد النوترينوات وفي توزيعها من الطاقة، يتوقف على الفرضية التي وضعناها، والتي مفادها أن كثافة العدد الليبتوني صغيرة (لنتذكر أن العدد الليبتوني هو عدد النوترينوات والليبتونات الأخرى مطروحاً منه عدد النوترينوات المضادة والليبتونات المضادة الأخرى). فإذا كانت كثافة العدد الليبتوني صغيرة ككثافة العدد الباريوني، عندئذ يجب أن يتساوى عدد النوترينوات مع عدد مضاداتها بفارق صغير جداً هو واحد من مليار. وعلى العكس، إذا كانت كثافة العدد الليبتوني تماثل كثافة الفوتونات، عندئذ يكون هناك «خلل»، أي زيادة هامة في عدد النوترينوات (أو في مضاداتها)، ونقص في النوترينوات المضادة (أو في النوترينوات) . ومثل هذا الخلل سيؤثر في تغير النسبة نوترون ـ بروتون في الدقائق الثلاث الأولى، وسيعدل بالتالي من كمية الهيليوم والدوتريوم المنتجين كوسمولوجياً. إن التحري عن خلفية النوترينوات في الدرجة ٢ كلفن، لن يبت فوراً في مسألة شأن العدد الليبتوني في الكون وحسب، بل سيحمل معه الدليل أيضاً ـ وهذا هو الأهم ـ على أن النموذج القياسي عن بداية الكون يتفق فعلاً مع الحقيقة والواقع.

ولكن النوترينوات للأسف لا تتبادل التأثير مع المادة العادية إلا بضعف، حتى أن أحداً لم يستطع أن يقترح طريقة تساعد على ملاحظة الخلفية الكونية للنوترينوات في الدرجة ٢ كلفن. وهذا موقف قاس رهيب، إذ يوجد شيء ما، شيء مثل مليار نوترينو ونوترينو مضاد مقابل كل جسيم نووي، ومع ذلك لا

يعرف أحد كيف يكتشف أمرها. ولعل أحداً يأتي في يوم من الأيام ويجد حلاً لهذه المعضلة.

إن هذا التصور (حول ما جرى في الدقائق الثلاث الأولى من بداية الكون) قد يترك عند القارىء شعوراً بنوع من اليقين العلمي المتطرف. من الجائز أن يكون على حق، ولكنني لا أعتقد أن غياب التحزب كلياً، أو انعدام الرأي المنحاز هو الموقف الذي يساهم خير مساهمة في تقدم العلم. فغالباً ما يكون ضرورياً كبت شكوكنا ومتابعة نتائج فرضياتنا إلى حيث تقودنا. وليس المهم أن نكون مجردين من كل حكم نظري مسبق، بل المهم أن يكون ما لدينا هو الأصلح منها. وما يجعلنا نحكم على مدى صلاحية هذه الأحكام النظرية المسبقة، هو دائماً النتائج المترتبة عليها. وقد أحرز النموذج القياسي لبداية الكون بعض النجاح، وهيأ لنا إطاراً نظرياً مترابطاً لوضع برامج تجريبية للمستقبل موضع التنفيذ، غير أن هذا لا يعني أن هذا النموذج هو الحق، بل يعني وحسب أن علينا أن نأخذه على محمل الجد.

ومع ذلك، هناك فعلاً **شك** قائم، إنه يحلق مثل غمامة قاتمة في سماء النموذج القياسي. فكل الحسابات المنوه عنها في هذا الفصل تعتمد دون صراحة على المبدأ الكوسمولوجي، أي على الفرضية التي مفادها أن الكون متجانس ومتماثل المناحي (انظر فصل توسع الكون). ونعني بقولنا «متجانس» أن الكون يبدو هو ذاته بالنسبة إلى كل مراقب مدفوع بعملية التوسع العامة التي تحرك مكان وجوده، ونعني بقولنا «متماثل المناحي» أن الكون يبدو هو ذاته في سائر المناحي التي ينظر المراقب في اتجاهها. فالملاحظة المباشرة تكشف عن أن الخلفية الكونية للإشعاع الراديوي هي متماثلة المناحي حولنا، ونستدل من ذلك على أن الكون كان دائماً متماثل المناحي ومتجانساً على أعلى مستوى، منذ أن توقف التوازن الحراري بين الإشعاع وبين المادة في درجة حرارة تقرب من ٣٠٠٠ درجة كلفن. ومع ذلك، لا شيء يثبت أن المبدأ الكوسمولوجي قد ظل سارياً في الفترات السابقة.

فمن الجائز مبدئياً أن الكون كان بعيداً جداً عن تماثل المناحي وعن

التجانس، وأنه قد «سُوِّي» فيما بعد بين أجزائه بقوى الاحتكاك التي كانت تنشأ بين مختلف أقسامه في أثناء توسعه. إن نموذجاً كهذا، كان قد اقترحه على وجه الخصوص شارل ميسنر Charles Misner من جامعة ميريلاند.. حتى أن الحرارة الناجمة عن السيرورة الاحتكاكية الساعية إلى المماثلة بين مناحي الكون ومجانسته، أمكن لها أن تساهم في القيمة الهائلة الحالية لنسبة عدد الفوتونات إلى عدد الجسيمات النووية. ولكن ـ على قدر معرفتي ـ لا يمكن لأحد أن يفسر لماذا يجب أن يكون للكون في بادىء الأمر درجة ما من لا تماثلية المناحي ومن اللاتجانس، كما لا يوجد إنسان قادر على حساب كمية الحرارة المتولدة من القوى التي ستمحو هذا اللا تماثل واللا تجانس.

إن الجواب الملائم في رأيي على مثل هذه الشكوك ليس (كما قد يفضل بعض الكوسمولوجيين) في أن نحدد موعداً لبدء النموذج القياسي، بل هو أن ننظر إليه بعين الجد، وأن نسير في نتائجه حتى نهايتها، وما ذلك إلا بأمل أن نتجاوز بالملاحظة تناقضاً قد يطرأ. ثم إنه ليس واضحاً أن درجة عالية ابتدائية من لا تماثلية المناحي ومن اللا تجانس كان لها تأثير ملموس في التاريخ المعروض في هذا الفصل. فمن الجائز أن الكون كان قد «سُوِّي» في الثواني المعدودة الأولى. وفي هذه الحالة، يمكن أن يحسب الإنتاج الكوني من الهيليوم والدوتريوم كما لو أن المبدأ الكوسمولوجي كان سارياً دائماً. وحتى لو ظل لا تماثل المناحي واللا تجانس قائمين إلى ما بعد عصر تركيب الهيليوم، فإن انتاجه (انتاج الهيليوم) والدوتريوم في كل ركام يتوسع بانتظام لا يتوقف إلا على سرعة التوسع داخل هذا الركام. ويمكن ألا يحيد هذا الإنتاج كثيراً عن الوفرة التي حسبناها في إطار النموذج القياسي. وحتى من الجائز أن الكون كله، الذي نستطيع رؤيته عندما نعود في الزمن إلى فترة التركيب النووي، ليس سوى ركام متجانس ومتماثل المناحي داخل كون أوسع غير متجانس وغير متماثل المناحي.

إن الشكوك التي تحيط بالمبدأ الكوسمولوجي، لن تصبح هامة حقاً إلا

عنـدما نتـأمل لحـظة بدء الكـون نفسها في المـاضي، أو عندمـا نتأمـل نهايتـه الأخيرة في المستقبل. وهكذا سأظل أعتمد على هـذا المبدأ، وأنـا واثق منه، في الأمور الأساسية التي سأعـرض لها في الفصلين الأخيـرين. ولكن علينا أن نسلم دائماً أن نماذجنا البسيطة قد لا تصف إلا جزءاً صغيراً من الكون أو فتـرة محدودة من تارخه.

الفصل السادس

جولة تاريخية قصيرة

لنترك تاريخ بدء الكون برهة من الزمن كي نعرج على تاريخ البحث الكوسمولوجي في العقود الثلاثة الأخيرة. ففي هذا التاريخ (الأخير) مسألة تحيرني وتستهويني في آن واحد، وهي ما أود التعرض له بوجه خاص. ففي عام ١٩٦٥ كان إظهار الخلفية الكونية للإشعاع الراديوي، واحداً من أهم اكتشافات القرن العشرين. ترى لماذا قدر لهذا الاكتشاف أن يأتي عرضاً؟ أو بمعنى آخر، لماذا لم يقم أي بحث منظم عن هذا الإشعاع في السنوات التي سبقت ١٩٦٥؟

بحسب ما رأينا في الفصل السابق، يساعد قياس القيمتين الحاليتين لدرجة حرارة خلفية الإشعاع وكثافة كتلة الكون على التنبؤ بمقدار وفرة العناصر الخفيفة، التي يبدو أن قيمتها المستنتجة تتفق اتفاقاً جيداً مع المشاهدة. وقبل عام ١٩٦٥ بسنوات، كان باستطاعتهم أن يجروا حساباً كهذا في الاتجاه المعاكس ليتنبؤوا بوجود خلفية كونية راديوية، وليباشروا بعد ذلك بالبحث عنها تجريبياً. إذ إنهم من مشاهدتهم أن وفرة الهيليوم حالياً هي ٢٠ إلى ٣٠٪، ووفرة الهيدروجين هي ٧٠ إلى ٨٠٪، كان باستطاعتهم أن يتبينوا أن التركيب النووي قد بدأ في فترة كانت قد هبطت فيها نسبة النوترونات من بين الجسيمات إلى ١٠ أو ١٥٪. (لنذكر هنا أن الوفرة الحالية للهيليوم بالوزن هي بالضبط ضعفا نسبة النوترونات التي كانت موجودة في زمن التركيب النووي).

وقد بلغت النوترونات هذه النسبة عندما كانت درجة الحرارة تقرب من مليار درجة كلفن (١٠^٩ ك). فبدء التركيب النووي في هذه اللحظة يساعد على تقدير كثافة الجسيمات النووية في درجة ١٠^٩ ك، بينما يمكن حساب كثافة الفوتونات في درجة الحرارة نفسها اعتماداً على الخواص المعروفة لإشعاع الجسم الأسود. وهكذا كان باستطاعتهم أن يعرفوا بالتالي نسبة عدد الفوتونات إلى عدد الجسيمات النووية في هذه اللحظة. ولكن نظراً لبقاء هذه النسبة ثابتة، سيعرفون أيضاً قيمتها الحالية. وهكذا يمكنهم من ملاحظة كثافة الجسيمات النووية أن يتنبؤوا بكثافة الفوتونات الحالية، وأن يخلصوا من ذلك إلى وجود خلفية كونية للإشعاع الراديوي الذي درجة حرارته الحالية تتراوح بين ١ و ١٠ درجات كلفن. فلو كان تاريخ العلم بسيطاً ومباشراً كما هو الأمر في تاريخ الكون، لكان باستطاعة إنسان أن يصل إلى هذا التنبؤ من محاكمة كهذه في الأربعينات أو الخمسينات من هذا القرن، ولكان هذا التنبؤ باعثاً يدفع بالفلكيين الراديويين إلى البحث عن خلفية الإشعاع. ولكن ليس هذا بالضبط ما حدث فعلاً.

والحقيقة، إن تنبؤاً كهذا، (أتى نتيجة لتدليل مماثل) كان قد خرج إلى النور عام ١٩٤٨، ولكنه لم يؤد إلى البحث عن خلفية الإشعاع لا في ذلك الوقت، ولا فيما بعد. ففي نهاية الأربعينات درس جورج غاموف George Gamow ومساعداه رالف أ. ألفر وروبرت هيرمان نظرية كوسمولوجية تقوم على انفجار كبير. وقد افترضوا يومئذ أن الكون كان يتألف في البدء من نوترونات وحسب، وأن هذه النوترونات بدأت فيما بعد بالتحول إلى بروتونات، وذلك حسب سيرورة التفكك الإشعاعي المعروفة التي يتحول خلالها كل نوترون تلقائياً إلى بروتون وإلكترون ونوترينو (وهذا ما يدعى بالنشاط الإشعاعي بيتا). وفي مرحلة معينة من التوسع تنخفض درجة الحرارة إلى الحد الذي يكفي لأن تتكون بسرعة عناصر ثقيلة من النوترونات والبروتونات، وذلك نتيجة أسرها المتتالي للنوترونات. وقد وجد آلفر وهيرمان اعتماداً على الوفرة المشاهدة في العناصر الخفيفة أنه لا بد كان هناك حوالي

مليار فوتون مقابل كل جسيم نووي. ولدى استفادتهم من تقديرات الكثافة الحالية للجسيمات النووية، أصبح بمقدورهم عندئذ أن يتنبؤوا بوجود خلفيةٍ للإشعاع هي أثر باقٍ منذ بداية الكون، وأن درجة حرارة هذا الإشعاع حالياً هي ٥ درجات كلفن.

لم تكن حسابات آلفر وهيرمان وغاموف الأولية صحيحة في كل تفصيلاتها، إذ إن الكون احتوى على الأرجح - وفي بدايته كما رأينا في الفصل السابق - بروتونات على قدر ما احتوى من نوترونات، ولم يحو النوترونات وحدها. ثم إن تحول النوترونات إلى بروتونات (والعكس بالعكس) تم مبدئياً خلال الصدمات التي كانت تتلقاهامن الإلكترونات والبوزيترونات والنوترينوات والنوترينوات المضادة، ولم يأت نتيجة للتفكك الإشعاعي (التلقائي). وفي عام ١٩٥٠ بين س. هاياشي هذه الأخطاء. فصحح آلفر وهيرمان بعد ذلك (بمساعد ج. و. فولين جي آر J. W. Follin Jr) نموذجهم وأجروا حساباً - كانت الفكرة الأساسية فيه صحيحة - للنسبة المتغيرة نوترون/بروتون. والحقيقة، كان هذا أول تحليل كامل لتاريخ بداية الكون.

ومهما كان أمر هذا الحساب، فإن أحداً لم يتعهد - لا في عام ١٩٤٨ ولا في عام ١٩٥٣ - ببحث تجريبي عن الإشعاع الراديوي المرتقب. والحقيقة، كان معظم الفيزيائيين الفلكيين يجهلون خلال سنوات وحتى عام ١٩٦٥ أن وفرة الهيدروجين والهيليوم في نموذج الانفجار العظيم (بيغ بانغ) تستدعي وجود خلفية كونية للإشعاع يمكن ملاحظتها فعلاً في الكون الحالي. وما يدهشنا هنا، ليس في أن يكون معظم الفلكيين الفيزيائيين قد غفلوا عن تنبؤات آلفر وهيرمان، إذ إن مقالة أو مقالتين يمكن أن يغيبا عن الأعين في هذا الخضم الهائل من الأدبيات العلمية، ولكن الأغرب من ذلك هو أن أحداً لم يتبع هذا التفكير نفسه خلال أكثر من عشرة أعوام، على الرغم من أن سائر المواد النظرية كانت مهيأة جاهزة. ويجب أن ننتظر حتى عام ١٩٦٤، لكي نرى حسابات التركيب النووي في نموذج انفجار عظيم تستأنف من جديد، وكان ذلك على يدي ب. زيلدوفيتش Y. B. Zeldovitch في الاتحاد

السوفييتي ، وهويل و ر. ج. تيلر R. J. Tayler في بريطانية، وبيبلز في الولايات المتحدة، وكان كل منهم قد عمل بمعزل عن الآخر. ولكن بنزياس وويلسون كانا قد بدأا أصلاً أرصادهما في هذه الفترة في هولمدل، كما تم اكتشاف الخلفية الراديوية دون أي دافع من منظّري الكوسمولوجية.

والغريب أيضاً هو أن الذين عملوا فعلاً بتنبؤات آلفر وهيرمان، ظلوا صامتين تجاه هذا الأمر. كما أن آلفر وفولين وهيرمان تركوا مسألة التركيب النووي مفتوحة «لأعمال قادمة»، ولم يكونوا بالتالي مهيئين إلى إعادة حساب درجة الحرارة المرتقبة لخلفية الإشعاع الراديوي على أساس نموذجهم المعدل. (لم يذكروا إطلاقاً توقعهم الأول لوجود خلفية إشعاع درجة حرارته ٥ كلفن، بل عرضوا بعض حسابات التركيب النووي في اجتماع الجمعية الفيزيائية الأميركية الذي عقد عام ١٩٥٣. ولكن كان كل منهم على وشك أن يغير مخبره، فكان الانفصال حائلاً دون كتابة أعمالهم بشكلها النهائي). وبعد سنوات وجه غاموف إلى بنزياس رسالة كتبها بعد اكتشاف خلفية الإشعاع الراديوي، وأشار فيها إلى أنه كان قد تنبأ في مقالة نشرتها عام ١٩٥٣ وقائع الأكاديمية الملكية الدنمركية، بوجود مثل هذه الخلفية للإشعاع بدرجة حرارة ٧ كلفن، بمعنى أن لها رتبة المقدار الصحيح. إلا أن قراءة مقالة غاموف تكشف عن أنها أقيمت على أساس رياضي خاطىء فيما يخص عمر الكون لا فيما يخص نظريتها الخاصة بالتركيب النووي.

قد يقال إن وفرة العناصر الخفيفة لم تكن في الخمسينات وبداية الستينات معروفة على النحو الذي يكفي لأن يتمكنوا آنذاك من الوصول إلى نتيجة حاسمة حول درجة حرارة خلفية الإشعاع. وهذا صحيح، فنحن ما زلنا إلى الآن غير متأكدين من وجود وفرة كونية من الهيليوم محصورة بين ٢٠ و ٣٠٪. إلا أن الشيء الهام، هو أنه يعتقد منذ زمن طويل وحتى قبل ١٩٦٠ أن القسم الأعظم من كتلة الكون هو على شكل هيدروجين. (من ذلك أن دراسة لـ هانز سويس Hans Suess وهارولد يوري Harold Urey تعود إلى عام ١٩٥٦، كانت تشير إلى أن وفرة الهيدروجين بالوزن هي ٧٥٪). في حين أن

الهيدروجين ليس من منتجات النجوم بل هو الوقود البدائي الذي تستمد منه طاقتها عندما تبني عناصر أثقل منه، وكان هذا كافياً للبرهان على أنه كان هناك في بدء الكون، عدد كبير من الفوتونات في مقابل كل جسيم، ليمنع الهيدروجين من أن يندمج على شكل هيليوم وعلى شكل عناصر أثقل منه.

وقد نتساءل كذلك، متى أصبح ممكناً من الناحية التقنية كشف الخلفية المتماثلة المناحي للإشعاع ذي الدرجة ٣ ك؟ إن إعطاء جواب محدد على هذا السؤال أمر صعب، إلا أن زملائي المجربين أكدوا لي أن هذه المشاهدة كان ممكناً تحقيقها قبل عام ١٩٦٥ بزمن طويل، وعلى الأرجح منذ منتصف الخمسينات، بل ربما في الأربعينات. ففي عام ١٩٦٤، كان فريق من معهد مساتشوستس للتكنولوجية مهيأ بإشراف روبرت ديك نفسه لتحديد حدٍ أعلى لكل خلفية متماثلة المناحي للإشعاع الآتي من خارج الأرض. فكانت درجة الحرارة المكافئة أدنى من ٢٠ درجة كلفن لأطوال الموجة ١,٠٠، ١,٢٥، ١,٥٠ سم. ولم يكن هذا القياس سوى نتيجة لدراسة بنيت على الامتصاص الجوي، ولم تكن حتماً جزءاً من برنامج للكوسمولوجية الرصدية. (والحقيقة، قال لي ديك أنه في الفترة التي بدأ يتساءل فيها عن وجود محتمل لخلفية كونية للإشعاع الراديوي، كان قد نسي الحد الأعلى الذي وجده (وهو ٢٠ درجة كلفن) لدرجة حرارة مثل هذه الخلفية التي حصل عليها قبل ذلك بعشرين عاماً).

وعلى هذا فإن تحديد الفترة التي أصبح فيها ممكناً كشف خلفية راديوية متماثلة المناحي وذات درجة حرارة ٣° ك، لا يبدو أمراً كبير الأهمية من الناحية التاريخية، بل المهم أن الفلكيين الراديويين لم يعرفوا أن عليهم أن يجربوا هذا الكشف! فما أبعد الشقة بين هذا وبين تاريخ النوترينو! فعندما اقترح باولي وجوده لأول مرة عام ١٩٣٢ كان واضحاً أن ليس ثمة ظل من حظ لمشاهدته خلال أي تجربة كان يمكن تحقيقها في ذلك الوقت. إلا أن كشف النوترينو ظل في ذاكرة الفيزيائيين يتحداهم في الكشف عنه. وعندما أمكن استخدام المفاعلات النووية في الخمسينات لهذا الغرض، بحثوا عن

النوترينو ـ ووجدوه. والتفاوت كذلك أكثر وضوحاً مع تاريخ البروتون المضاد. فبعد اكتشاف البوزيترون عام ١٩٣٢ في الأشعة الكونية، توقع الفيزيائيون النظريون أن يكون للبروتون مضاده الخاص على غرار الإلكترون. ولم تكن هناك أي فرصة لتوليد البروتون المضاد بسيكلوترونات الثلاثينات، ولكن الفيزيائيين لم ينسوا هذه المسألة، بل أقيم في الخمسينات مسرع خاص (هو بيفاترون Bevatron بركلي) ليكون قادراً على توليد البروتون المضاد. ولكن خلفية الإشعاع الراديوي الكونية لم تعرف أبداً حماساً كهذا إلى أن شرع ديك ومعاونوه في الكشف عنها عام ١٩٦٤. بل إن فريق برنستون كان حتى ذلك الحين يجهل تماماً أعمال غاموف وآلفر وهيرمان التي أتت قبل ذلك بعشر سنوات.

إذاً هناك سبب ما خلف هذه الظاهرة، فما هو؟ يمكن أن نقدم ثلاث حجج على الأقل تفسر السبب في الإقلال من شأن البحث عامة عن خلفية الإشعاع الراديوي ذي الدرجة ٣ كلفن في الخمسينات وبداية الستينات.

أولاً: يجب أن نعلم أن غاموف وآلفر وهيرمان وفولين وغيرهم كانوا يعملون فعلاً في إطار نظرية انفجار عظيم، بدائية إلى حد ما. فالشيء الأساسي المكوَّن من النوى الثقيلة ـ وليس الهيليوم وحده ـ كان يتولد (في نظرهم) في بداية الكون نتيجة الجمع السريع للنوترونات. وعلى الرغم من أن هذه النظرية كانت تتنبأ بوفرة نسبية صحيحة لبعض العناصر الثقيلة، إلا أنها كانت تجد صعوبة في تفسير وجود هذه العناصر ذاتها.

فكما قلنا سابقاً، لا يوجد نوى مستقرة مؤلفة من خمس جسيمات نووية أو ثمان، لذلك يستحيل تركيب نوى أثقل من نوى الهيليوم (He^4) بإضافة نوترونات أو بروتونات إليها أو بدمجها أزواجاً أزواجاً. (وكان أول من أشار إلى هذا العائق إنريكو فيرمي Enrico Fermi وأنطوني توركوفيتش Anthony Turkevitch). فإذا أخذنا هذه الصعوبة في اعتبارنا، يسهل علينا كذلك أن نفهم لماذا كان النظريون غير مهيئين لأن يأخذوا حساب إنتاج الهيليوم وحده على محمل الجد في هذه النظرية.

ثم إن النظرية الكونية لتركيب العناصر(١)، تتراجع كذلك أمام تقدم النظرية البديلة التي تقول إن هذه العناصر تولد في النجوم. ففي عام ١٩٥٢ برهن إ. إ. سالبيتر E. E. Salpeter أن الثغرتين الناشئتين عن عدم وجود نوى مؤلفة من خمسة أو ثمانية جسيمات، يمكن ملؤهما داخل النجوم الغنية بالهيليوم، إذ إن الصدمات الواقعة بين نواتي هيليوم تولد نوى مستقرة من البيريليوم (Be^8). وفي هذا الوسط الكثيف جداً (أي النجم) يمكن لنوى البيريليوم أن تصطدم مع نوى أخرى للهيليوم قبل أن تتفكك، لتؤلف بذلك نوى الفحم المستقرة (C^{12}). (في فترة التركيب النووي كانت كثافة الكون أضعف بكثير من أن تساعد على إمكان حدوث هذه السيرورة). وفي عام ١٩٥٧، برهن جوفري Geoffrey ومارغريت بوربردج Burbridge وفاولر وهويل في مقالة شهيرة، أن تركيب العناصر الثقيلة يمكن أن يتم داخل النجوم، وخاصة عند الانفجارات الكبيرة كالسوبرنوفا، إذ توجد عندئذ دفقة قوية من النوترونات. ومع ذلك، كان لدى الفلكيين الفيزيائيين ميل قوي حتى قبل الخمسينات إلى الظن أن سائر العناصر الأخرى عدا الهيدروجين تتولد في النجوم. وقد أوحى لي هويل بأن هذا الميل، ربما كان نتيجة للمعركة التي خاضها الفلكيون في العقود الأولى من هذا القرن كي يفهموا منشأ الطاقة المتولدة في النجوم. وحوالي العام ١٩٤٠، برهنت أعمال هانزبيث Hans Bethe وباحثين آخرين بوضوح أن مفتاح العملية كلها في اندماج أربع نوى هيدروجين لتكوين نواة هيليوم، وقد أدت هذه السوجهة في الأربعينات والخمسينات إلى تقدم سريع في فهم تطور النجوم. وكما قال هويل: بعد كل هذا النجاح، يبدو من الضلال في نظر كثير من الفلكيين الفيزيائيين أن نظل نشك أن النجوم هي موطن تشكل العناصر.

ولكن هذه النظرية النجومية عن التركيب النووي، تصادف هي أيضاً مسائل خاصة بها. إذ إننا لا نرى بوضوح كيف أمكن للنجوم أن تكون شيئاً

---

(١) أي النظرية التي تقول إن هذه العناصر الثقيلة قد تشكلت منذ بدايات نشوء الكون.

مثل وفرة تعادل ٢٥ إلى ٣٠٪ من الهيليوم، ذلك لأن الطاقة المحررة من عملية الاندماج[1] ستكون أعلى من الطاقة التي يبدو أن النجوم تشعها خلال فترة وجودها كله. ولكن النظرية الكونية (للتركيب النووي) تتخلص بكل رشاقة من هذه الطاقة، إذ تقول إنها تستهلك بعملية الانحراف العام نحو الأحمر، ففي عام ١٩٦٤ بين هويل و ر. ج. كيلر أن وفرة الهيليوم لا يمكن أن تكون قد تولدت في النجوم العادية، وشرعوا فعلاً بحساب كمية الهيليوم التي كان من الممكن أن تصنع في المرحلة الأولى من انفجار عظيم Big Bang، فحصلا بذلك على وفرة في الثقل تعادل ٣٦٪. والشيء الطريف في عملهم أنهم حددوا بصورة كيفية تقريباً درجة حرارة الكون لحظة تركيب النوى بقيمة ٥ مليار درجة كلفن، في حين أن درجة الحرارة هذه تتعلق بوسيط لم تكن قيمته معروفة حين قاموا بهذا العمل، وهذا الوسيط هو نسبة عدد الفوتونات إلى عدد الجسيمات النووية. فلو أنهم استخدموا حساباتهم في تقدير هذه النسبة منطلقين من وفرة الهيليوم الملاحظة، لكان بإمكانهم أن يتنبؤوا بوجود خلفية إشعاع راديوي حالية مع درجة حرارتها، وبسوية تقدير جيدة. ومهما يكن من أمر، فإن ما يدهشنا هو أن هويل، وهو أحد المبشرين بالنموذج الاستقراري (Steadystate) واتته الرغبة في متابعة هذا التفكير حتى نهايته، فعرف بعدئذ أن ما فعله ليس سوى دعم للنماذج التي تقول بالانفجار العظيم.

واليوم ينظر إلى التركيب النووي على أنه قد تم كوسمولوجياً (أي عند بداية الكون) (بالنسبة للنوى الخفيفة) وفي النجوم (بالنسبة للنوى الأثقل من الهيليوم): فالهيليوم (وربما بعض العناصر الأخرى الخفيفة) تم تركيبه في بداية الكون. أما النجوم فهي المسؤولة عن انتاج كل ما بقي من العناصر. إن نظرية التركيب النووي الكونية فقدت عند التمادي في تطبيقها، مصداقيتها التي تستحقها فعلاً من كونها نظرية لتركيب الهيليوم.

---

(١) أي اندماج نوى الهيدروجين لتكوين نوى هيليوم بهذه النسبة العالية (المترجم).

ثانياً: تعطينا هذه القصة مثالاً نموذجياً عن فداحة الانفصال بين المجربين وبين النظريين. فمعظم هؤلاء، النظريين، لم يتحققوا في أي لحظة أن من الممكن قطعاً الكشف عن خلفية إشعاع متماثل المناحي ذي درجة حرارة ٣ ك. ففي رسالة وجهها غاموف إلى بيبلز مؤرخة في ٢٣ حزيران ١٩٦٧، يذكر غاموف أنه، لا هو ولا هيرمان، قد فكروا في إمكان الكشف عن إشعاع متبق من **الانفجار** العظيم، ذلك لأن الفلك الراديوي يوم قيامهم بأعمالهم الكوسمولوجية، كان لا يزال في مهده. (إلا أن آلفر وهيرمان أخبراني أنهما قد درسا إمكان ملاحظة خلفية كونية للإشعاع مع مختصين في الرادار في جامعة جون هوبكنز في مخبر الأبحاث البحرية، وفي المكتب الوطني للمعياريات، لكنهما تلقيا رداً بأن خلفية إشعاع درجة حرارته محصورة بين ٥ و ١٠ كلفن هي خلفية أضعف من أن تكشفها تقنيات ذلك العصر).
ويبدو من جهة أخرى أن بعض الفلكيين الفيزيائيين السوفييت كانوا قد تحققوا أن بالإمكان مشاهدة خلفية راديوية، ولكن لغة المجلات الأميركية التقنية ضللتهم. ففي مقالة تعود إلى عام ١٩٦٤ كان ي. ب. زيلدوفيتش قد حسب بشكل صحيح وفرة الهيليوم من أجل قيمتين محتملتين لدرجة الحرارة الحالية للإشعاع، وأشار بحق إلى العلاقة القائمة بين هاتين القيمتين مع بقاء عدد الفوتونات المقابل لكل جسيم نووي ثابتاً. ولكن يبدو أنه اسْتُجِر إلى خطأ نتيجة لاستخدام عبارة «درجة حرارة السماء» (sky temperature) في مقال كان قد كتبه إ. أ. أوم E. A. Ohm في مجلة جهاز شركة بل التقنية عام ١٩٦١ ليخلص منه إلى أن درجة حرارة الإشعاع يجب أن تكون أدنى من ١ كلفن. (والمضحك هنا، هو أن الهوائي الذي استعمله أوم هو العاكس ذاته ذو الـ ٢٠ قدماً الذي استعان به ولسون لاكتشاف الخلفية الراديوية). وهذا الخطأ بالإضافة إلى سوء تقدير وفرة الهيليوم في الكون، أدى بزيلدوفيتش مع شيء من التردد إلى ترك فكرته عن كون ابتدائي حار.

وكما كان انتقال الإعلام من المجربين إلى النظريين رديئاً، كذلك طبعاً كان انتقال الإعلام في الاتجاه المعاكس. فبنزياس وويلسون لم يكونا قد

سمعا قط عن تنبؤ آلفر وهيرمان عندما شرعا عـام ١٩٦٤ بالتحقق من صـلاحية هوائيهما.

ثالثاً: (وهـذا هو السبب الأهم)، إن نـظرية **الانفجـار العظيم** لم تفض إلى بحث جاد عن خلفية راديوية ذات ٣ درجـات كلفن، ذلك لأن الفيـزيائيين آنذاك كان من الصعب عليهم أن يأخذوا نظرية ما عن بداية الكون مأخذ الجد (وأقول ذلك ـ كما قاله غيري ـ ذاكراً وجهة نظري الخاصة قبل عـام ١٩٦٥). فكل الصعوبـات التي عرضتهـا، كان من الممكن تـذليلها بشيء من الجهـد. ولكن الدقائق الثلاث الأولى للكون تبـدو بعيدة جـداً عنا نحن الآن، وشـروط الحرارة والكثافة ليست مألوفة، ولذلك لن نشعر أننا في وضع يؤهلنا لأن نـطبق عليها نظرياتنا العادية في الفيزياء النووية والميكانيك الإحصائي.

وهذا ما يحدث غالباً في الفيزياء ـ فخطؤنا ليس أننا نولي نظرياتنا مـزيداً من الجدية، بل أننا لا نوليها ما يكفي من الاهتمام، إذ يصعب علينـا دائماً أن ندرك أن هذه الأعداد وتلك المعادلات، التي نتداولها في مكاتبنا، لهـا علاقـة ما مع عالم الواقع. والأسوأ من ذلك، يبدو أن هناك إجماعاً على فكرة تقـول، وبكل بساطـة، إن بعض الظواهـر لا يمكن أن تكون هـدفاً لنـظرية أو لجهـد تجـريبي محترم. ففضـل غامـوف وآلفر وهيـرمان يتلخص قبـل كـل شيء في عزمهم منذ ذلك العهد على أن يأخذوا مسألة بداية الكون على محمل الجـد، وأن يُنطقوا قوانين الفيزياء المعروفة بما لديها عن الـدقائق الثـلاث الأولى. إلا أنهم لم يقـومـوا بـالخـطوة الأخيـرة التي كـان من شـأنهـا أن تقنـع الفلكيين الراديويين بـأن عليهم أن يحاولـوا الكشف عن خلفية إشعـاع راديوي. فـالأمر الهام الذي أنجزه اكتشاف عام ١٩٦٥ النهائي لخلفيـة الإشعاع ذي الـدرجة ٣ كلفن هو أنه أرغمنا على أن نولي فكرة «أن الكون كان له بداية فعـلاً» اهتمامـاً جدياً حقيقياً.

لقد تريثت في الحـديث عن هذه الفـرصة الضـائعة لأني أعتقـد أنها من أكثر قصص التاريـخ العلمي عبرة ومـوعظة. إذ من الـطبيعي أن يخصص قسم

كبير من كتابة تاريخ العلم للخطوات الناجحة فيه، وبكل ما فيها من اكتشافات خارقة واستنتاجات ساطعة، كالقفزات السحرية التي حققها نيوتن وأينشتين وأمثالهما. ولكنني أعتقد أنه يستحيل علينا أن نفهم حقاً هذه الخطوات دون أن نفهم كذلك كم كانت صعبة، ودون أن نتحقق أنه كان من السهل جداً أن تجر إلى الخطأ، وأنها في كل لحظة تجد صعوبة في التقدم خطوة إلى الأمام.

الفصل السابع

أول جزء من
مئة من الثانية

إن استعادة مجريات الدقائق الثلاث الأولى التي عرضناها في الفصل الخامس لم تبدأ منذ البداية، إذ إننا جعلنا السوية الأولى تنطلق عندما كانت درجة الحرارة قد هبطت حتى ١٠٠ مليار درجة كلفن. فالجسيمات الوحيدة التي كانت متوافرة آنذاك بأعداد كبيرة هي بالتالي الفوتونات والإلكترونات والنوترينوات ومضاداتها. ولو كانت أنماط الجسيمات هذه هي وحدها الموجودة في الطبيعة، لكان من الجائز أن يتاح لنا استقراء توسع الكون من عودتنا القهقري في الزمن، واستنتاج أنه كان ثمة بداية حقيقية حتماً، هي حالة لدرجة حرارة وكثافة لا نهائيتين، بدأت قبل مطلع السوية الأولى بـ٠,٠١ من الثانية.

ولكننا نعرف أنماطاً أخرى كثيرة من الجسيمات، فهناك الموبونات والميزونات بي والنوترونات إلخ. وعندما نعود في الزمن إلى أبعد فأبعد، نصادف درجات حرارة وكثافات مرتفعة إلى درجة أن سائر هذه الجسيمات كانت حتماً تتوافر بأعداد كبيرة وفي حالة توازن حراري، وأن هذه الجسيمات يؤثر بعضها في بعض باستمرار. ولأسباب آمل أن أجعلها واضحة، نحن ببساطة، لا نعرف ما يكفي عن فيزياء الجسيمات الأولية لكي نكون قادرين على حساب خواص مثل هذا الخليط، حتى ولا بأقل ما يمكن من الثقة

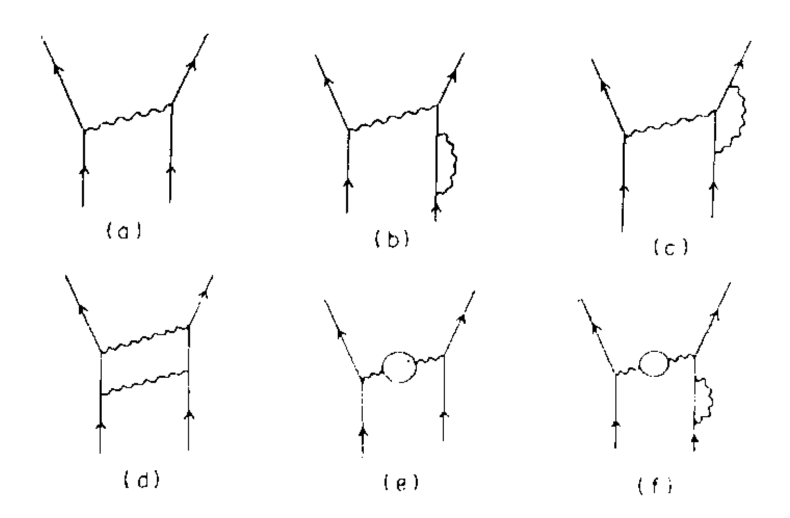
واليقين. وهكذا يقف جهلنا في الفيزياء المجهرية حائلاً دون رؤيتنا لبداية الكون.

لا شك أن محاولة استشفاف ما يكمن خلف هذا الحائل على الرغم من وجوده، هي مسألة مشوقة جداً. لا بل إن عامل التشويق والإغراء يكون أقوى ما يكون، عند النظريين الذين عملوا مثلي في فيزياء الجسيمات أكثر مما عملوا في الفيزياء الفلكية. ولكن فيزياء الجسيمات المعاصرة، فيها الكثير من الأفكار الهامة التي تترتب عليها نتائج هي من الرهافة والدقة بحيث يكاد يستحيل التحقق من صحتها في المخبر، لكن نتائجها تصبح درامية عندما نطبقها على دراسة بداية الكون.

وأولى المسائل التي تعترضنا عندما نعود إلى عصور كانت تسود فيها درجة حرارة أعلى من ١٠٠ مليار كلفن، هي تلك التي تثيرها «التأثيرات المتبادلة القوية» بين الجسيمات الأولية. إن هذه التأثيرات، هي التي تحافظ على ارتباط البروتونات والنوترونات داخل النوى الذرية. وهي غير مألوفة في حياتنا اليومية كالقوى الكهرطيسية والثقالة، لأن مداها قصير جداً، إذ إنه قريب من جزء من عشرة آلاف مليار جزء من السنتيمتر ($١٠^{-١٣}$ سم). فحتى في الجزيئات التي يفصل بين نواها عادة نحو من جزء من مئة مليون جزء من السنتمتر ($١٠^{-٨}$ سم) يمكن أن نفترض أن ليس لهذه التأثيرات المتبادلة مفعول ما. غير أن شدة هذه التأثيرات كما يدل عليها اسمها، قوية جداً. فعندما يكون بروتونان قريبين قرباً كافياً أحدهما من الآخر، يصبح التأثير المتبادل القوي الذي يحدث بينهما أقوى بما يقرب من ١٠٠ مثل من قوة الدفع الكهرساكني بينهما. وهذا ما يساعد التأثيرات المتبادلة القوية على المحافظة على ارتباط النوى الذرية على الرغم من قوى الدفع المتبادلة بين البروتونات التي قد يصل عددها إلى المئة. وما انفجار قنبلة الهيدروجين إلا نتيجة لإعادة ترتيب النوترونات والبروتونات داخل النوى بحيث تصبح النواة أصلب استقراراً بالتأثيرات المتبادلة القوية، وطاقة الانفجار هي بالضبط فائض الطاقة المحررة نتيجة لإعادة هذا الترتيب.

إن هـذه الشدة هي التي تجعـل دراسة التـأثير المتبـادل القوي ريـاضيـاً أصعب بكثيـر من دراسة التـأثير المتبـادل الكهرطيسي. من ذلـك، أننا عنـدما نحسب معدل انتشار إلكترونين نتيجة للدفع الكهرطيسي بينهمـا، علينا أن نقـوم بجمـع عدد غيـر منته من القيم المسـاهمـة في هـذا المعـدل، والتي نسميهـا مساهمات. ذلك أن كل تتابع خاص من التتابعات الممكنة لإصدار الفوتـونات والأزواج إلكترون ـ بوزيترون،وامتصاصهـا،له مسـاهمته الخـاصة. ويمثـل هذا التتابع «بمخـطط فاينمـان» كما هـو مبين في الشكل ١٠ (إن طـريقة الحسـاب المطبقة وفقاً لهذه المخـططات كان قـد وضعها في نهـاية الأربعينـات ريتشارد فـاينمان Richard Feynman عنـدما كـان في جامعـة كورنيـل. ومن النـاحيـة الرياضية الدقيقة، نحصل على معدل سيرورات الانتشار من أخذ مربع مجموع المساهمات التي يقـابل كـل منها مخـططاً). إن ضم كل خط (جـديد) داخـل مخطط ما يقلل من مسـاهمة هـذا المخطط بمعـامل يسـاوي تقريبـاً قيمة ثـابتة أسـاسية في الـطبيعة تسمى «ثـابت البنيـة الـدقيقـة» (هـذه التسميـة تـاريخيـة محضة). وقيمة هـذا الثابت صغيـرة إلى حد مـا وتساوي تقـريباً $\frac{1}{137.036}$ وعلى هـذا فإن مسـاهمة المخـططات المعقدة ستكـون صغيرة إلى حـد يكفي لإهمالها، بحيث نستطيع أن نحصل على تقريب جيـد لمعدل الانتشار من جمع بعض المخططات البسيطة (راجع حاشية الشكل١٠). (وهـذا ما يجعلنـا نعتقد أن باستطاعتنـا التنبؤ ببنية الأطيـاف الذريـة بدقـة غير محـدودة). ولكن الثابت الـذي يلعب بالنسبـة للتأثيـرات المتبادلـة القويـة دور ثابت البنيـة الدقيقـة، لا يساوي $\frac{1}{137}$ ، وإنما هـو قريب من الـواحد الصحيـح، بحيث أن المخططات المعقدة تصبح مساهمتها هامة وبمنزلة المخـططات البسيطة. وهـذه الصعوبـة في حساب معدلات العمليات التي تدخل فيها التأثيرات المتبادلة القـوية، هي التي كانت أكبر عائق أمام تقدم فيزياء الجسيمات الأوليـة خلال الـربع الأخيـر من هذا القرن.

ولكن ليس كل السيرورات تدخل فيها التأثيرات المتبادلة القويـة، إذ إن هذه التأثيرات لا تعرض إلا لفئة من الجسيمات هي التي تسمى «هادرونات».



شكل (١٠) بعض مخططات فاينمان

١٠ ـ يمثل هذا الشكل بعضاً من أبسط مخططات فاينمان من أجل سيرورة انتثار إلكترون ـ إلكترون، حيث تمثل الخطوط المستقيمة الإلكترونات والبوزيترونات، وتمثل الخطوط المتعرجة الفوتونات. وكل مخطط يمثل قيمة عددية معينة تتوقف على العزوم الحركية للإلكترونات الداخلة والخارجة وعلى سبيناتها (وفي المثال إلكترونات). ومعدل سيرورة الانتثار هو مربع مجموع مثل هذه الكميات المتعلقة بسائر مخططات فاينمان المحتملة. مساهمة كل مخطط من هذا المجموع تتناسب مع قوة معينة للمعامل $\frac{١}{١٣٧}$ (ثابت البنية الدقيقة) بحيث تكون رتبة القوة مساوية لعدد خطوط الفوتونات. فالمخطط (a) مثلاً يمثل تبادل فوتون واحد، ويؤدي إلى مساهمة أساسية متناسبة مع $\frac{١}{١٣٧}$. والمخططات (b)، (c)، (d)، (e) هي كل تلك التي تحمل لـ (a) تصحيحاً إشعاعياً رئيسياً، مساهماتها كلها من رتبة $(\frac{١}{١٣٧})^٢$. والمخطط (f) مساهمته أصغر أيضاً من المساهمات السابقة، إذ إن مساهمته متناسبة مع $(\frac{١}{١٣٧})^٣$.

وهي تشمل الجسيمات النووية (نوترون، بروتون)، والميزونات بي، وجسيمات أخرى غير مستقرة تسمى ميرونات (K) وميزونات إتا، وهبرونات لمبدا، وهبرونات سيغما إلخ. والهادرونات عامة أثقل من الليبتونات (أتت كلمة ليبتون Lepton أصلاً من كلمة يونانية تعني «خفيف»). غير أن الفرق

الحقيقي الهـام بين هـاتين الفئتين من الجسيمـات، يقـوم على أسـاس أن الهـادرونات هي (بـالتعريف) تلك التي تتحسس للتـأثيرات المتبـادلة القـوية، بينما الليبتونات (أي الإلكترون والنوترينو والمويون) لا تتأثر بها إطلاقاً. وكـون الإلكترونات لا تتحسس للقوى النووية هي حقيقة حاسمة (في تاريخ المادة). فالإلكترون بخفته مسؤول عن أن الغيمة الإلكترونية في ذرة أو في جزيء تمتد إلى مدى يفوق امتداد النواة الذرية بما يقارب ١٠٠٠٠٠ مرة، ومسؤول كذلك عن أن القـوى الكيمـاويـة التي تـربط بين الـذرات المؤلفـة لجزيء مـا، هي أضعف بمليـون مرة من القـوى التي تمسك بـالبروتـونات والنـوترونـات داخل النوى الذرية. فلو كانت الإلكتـرونات في الـذرات والجزيئـات تتأثـر بالقـوى النووية، لما كانت هنـاك كيمياء ولا تكـوين بلورات ولا بيولـوجية، ولمـا كان هناك سوى فيزياء نووية.

إن درجة الحرارة ١٠٠ مليار كلفن التي بدأنا بها الفصـل الخامس، هي درجة اختيرت بعنـاية لتكـون أدنى من عتبة سـائر الهـادرونات. (يتبين لنـا من جـدول «خـواص بعض الجسيمـات الأوليـة» أن درجـة حـرارة العتبـة لأخف الهادرونات، وهوالميزون بي، هي ١٦٠٠ مليار كلفن). وهكذا فإن الجسيمات الـوحيدة التي كـانت متوافـرة بأعـداد كبيرة طيلة الفتـرة التي تحدثنـا عنهـا في الفصل الخامس هي الليبتونات والفوتونـات، فالتـأثيرات المتبـادلة بينهـا يمكن تجاهلها دون خطر ما.

ترى كيف نستطيع أن نعمل في درجات حرارة أعلى من هـذه، أي حين تكون الهادرونات ومضاداتها متوافرة بأعداد كبيرة جداً؟ هناك إجابتان مختلفتان كل الاختلاف على هذه المسألـة، وهما تعبـران عن رأي مدرستين فكـريتين، هما أيضاً، مختلفتين كل الاختلاف حول طبيعة الهادرونات.

إحـدى المدرستين تقـول أنه لا يـوجـد شيء في الـواقـع يمكن تسميتـه هادرون «أولي»، وكل هادرون هو أساسي كسائـر الهادرونـات الأخرى ـ وهـذا القـول، لا ينطبق فحسب على الهـادرونات المستقـرة أو شبـه المستقـرة مثـل البـروتون والنـوترون، أو المستقـرة بـاعتـدال كـالميـزون بي والميـزون K، أو

الهبرونات التي تطول مدة حياتها إلى أمد يكفي لأن تترك أثراً مقيساً على اللوحة الفوتوغرافية الحساسة وفي غرفة الفقاعات، بل ينطبق كذلك على الجسيمات اللا مستقرة نهائياً (كالميزون رو) التي تتفكك بسرعة، والتي تكاد لا تملك زمناً يكفي لاختراق نواة ذرية بسرعة الضوء. وقد طور هذا المذهب في نهاية الخمسينات وبداية الستينات جوفري شو Geoffrey Chew من جامعة بركلي، ويسمى هذا المذهب عادة «الديموقراطية النووية».

وحين يُعرَّف «الهادرون» على هذا النحو المنفتح، يصبح لدينا المئات من الهادرونات المعروفة التي درجة حرارة عتبتها تقل عن ١٠٠٠٠٠ مليار درجة، بل ما زال هناك على الأرجح مئات أخرى تنتظر من يكتشفها، لا بل هناك نظريات تفترض وجود عدد غير محدود من أنواعها، إذ إن عدد أنماط الجسيمات يزداد بسرعة كلما اكتشفنا كتلاً أكبر. فمحاولة إعطاء مضمون لمثل هذا العالم قد تبدو عبثاً لا طائل منه. ولكن تعقيد طيف الجسيمات هذا، يمكن أن يؤدي هو نفسه إلى نوع من البساطة. من ذلك مثلاً أن الميزون رو هو هادرون يمكن أن نعده جسيماً غير مستقر مؤلفاً من ميزونين من ميزونات بي. فعندما نضمن الميزونات رو في حساباتنا صراحة، نأخذ في حسابنا ضمناً وإلى حد ما، التأثير المتبادل بين الميزونات بي. فمن الممكن إذاً أنه عندما نضمن في حساباتنا الترموديناميكية صراحة كل الهادرونات، أن يكون باستطاعتنا أن نتجاهل سائر المفعولات الأخرى للتأثيرات المتبادلة القوية.

أضف إلى ذلك، إذا وُجِدَ فعلاً عدد غير محدود من أنماط الهادرونات، عندئذ لا يؤدي إدخال المزيد ثم المزيد من الطاقة في حجم معين إلى رفع سرعة الحركة العشوائية للجسيمات المحتواة في هذاالحجم، بل يؤدي فحسب إلى زيادة عدد أنماط الجسيمات المختلفة. وفي هذه الحالة، لا ترتفع درجة الحرارة بالسرعة التي ترتفع فيها كثافة الطاقة، على نحو ما يحدث إذا كان عدد أنواع الهادرونات محدوداً[1]. وهذا فعلاً ما تأخذ به هذه النظرية.

---

(١) يعني أن الطاقة تصرف في زيادة عدد أنماط الهادرونات بدلاً من أن تصرف في رفع درجة

فهي تسلم بإمكان وجود درجة حرارة أعظمية ستبلغها المادة عندما تكون كثافة الطاقة لا نهائية. ودرجة الحرارة هذه، تصبح إذاً حداً أعلى لدرجة الحرارة لا يمكن تجاوزه، كما أن الصفر المطلق هو حد أدنى. وترجع فكرة درجة حرارة أعظمية في فيزياء الهادرونات إلى السيد ر. هاجيدورن R. Hagedron من المركز الأوروبي للبحث النووي في جنيف، ثم طورت هذه الفكرة على يد نظريين آخرين، منهم كيرسون هوانغ Kerson Huang من معهد ماساتشوستس التكنولوجي، وأنا شخصياً (أي المؤلف نفسه). ولدينا تقدير لا بأس بدقته لهذه الدرجة الأعظمية ـ بل والأمر المدهش أنها منخفضة، إذ تقرب من ٢٠٠٠ مليار درجة كلفن (٢×١٠^{١٢} ك). ففي لحظات تقترب تدريجياً من البداية، تزداد درجة الحرارة مقتربة من هذه النهاية الأعظمية، وتستمر فئة الهادرونات في ثرائها من تكون أنماط جديدة. لكن في سائر الأحوال، سيكون هناك، حتى في مثل هذه الظروف الفيزيائية الغريبة، بداية للكون (أي حالة تكون فيها الكثافة لا نهائية) وذلك قبل بداية السوية الأولى بما يقرب من جزء من مئة من الثانية.

هناك مدرسة تفكر غير هذا التفكير، وهي أكثر ملاءمة للذوق العام، وأقرب إلى الحدس المباشر، بل وفي رأيي هي أقرب كذلك إلى الحقيقة من مدرسة «الديموقراطية النووية». هذه المدرسة ترى أن الجسيمات ليست كلها سواسية. فبعضها هي فعلاً أولية، بينما الأخرى ليست سوى تأليفات لهذه الجسيمات الأولية. وفي نظريتنا هذه يعد الفوتون والليبتونات المعروفة جسيمات أولية، ولكن **ليس بين الهادرونات المعروفة ما هو أولي**. . وبتحديد أكثر، تفترض هذه النظرية أن الهادرونات مؤلفة من جسيمات هي الأصل والأساس تسمى «كواركات».

الحرارة(إذا كان عدد الهادرونات غير محدود). أما في حالة عدد محدود، فيتوقف تزايد **أنواعها** عند حد، وتعمل الطاقة المرتفعة على رفع درجة الحرارة.

(المترجم).

ويرجع الفضل في القصة الأصلية للكواركات إلى موري جيل - مان Murray Gell - Mann، و (بمعزل عنه) إلى جورج زويغ George Zweig: وكلاهما من معهد كاليفورنية للتكنولوجية. وقد أطلق نظريو الفيزياء لخيالهم الشاعري العنان فعلاً في تسميتهم لمختلف أنماط الكواركات، فهي توجد على شكل «عطور» تدعى فوق « up»، تحت «down» ، «غريبة»، «مفتونة»، زد على ذلك أن كل «عطر» من الكواركات يوجد على شكل «ألوان» مختلفة، يسميها النظريون الأميركيون عادة الأحمر، الأبيض، الأزرق. ولكن فريق الفيزياء النظرية الصغير في بكين الذي أيد رواية نظرية الكواركات، أطلق عليها اسم «ستراتونات» Stratons من كلمة Strate وتعني طبقة)، لأن هذه الجسيمات تنتمي إلى طبقة من الواقع هي أعمق من طبقة الهادرونات العادية (أي البروتون والنوترون إلخ).

وإذا كانت فكرة الكواركات مطابقة للواقع، عندئذ قد تغدو فيزياء بداية الكون أبسط مما نتصور. إذ إن نمط القوى العاملة بين الكواركات يمكن استنتاجه من توزعها المكاني داخل جسيم نووي، وهذا التوزع يمكن تعيينه بدوره (إذا كان نموذج الكواركات صحيحاً) من الاصطدمات العالية الطاقة بين الجسيمات النووية والإلكترونات. وقد وجد بهذه الطريقة منذ عدة سنوات، وبتعاون قام بين معهد ماساتشوستس التكنولوجي وبين مسرع سانفورد الخطي، أن القوة التي تعمل بين الكواركات تختفي على ما يبدو، حين تكون الكواركات متقاربة جداً بعضها من بعض. وهذا أمر يمكن أن يؤدي في النهاية إلى تفكك الهادرونات إلى الكواركات التي تكونها، وذلك عند درجة حرارة معينة تقرب من بضعة آلاف مليار درجة كلفن، أي بالطريقة نفسها التي تتفكك فيها الذرات إلى إلكترونات ونوى ذرية عند درجة حرارة تبلغ بضعة آلاف كلفن، وكذلك مثلما تتفكك النوى نفسها إلى بروتونات ونوترونات عند درجة حرارة تبلغ بضعة مليارات الدرجة. ومن وجهة النظر هذه يمكن أن ننظر إلى الكون على أنه كان في لحظاته الأولى مكوناً من فوتونات، وليبتونات، وليبتونات مضادة، وكواركات وكواركات مضادة، وجميع هذه الجسيمات

تتحرك حركة شبه طليقة، بحيث كل نمط منها يشكل بالتالي وببساطة نوعاً متمماً لإشعاع الجسم الأسود. وعندئذ يظهر الحساب بسهولة أنه لا بد كانت هناك بداية للكون، أو لحظة كانت فيها الكثافة ودرجة الحرارة لا نهائيتين، وأن هذه اللحظة قد أتت قبل بدء السوية الأولى بما يقرب من جزء من مئة من الثانية.

إن هذه الأفكار، الحدسية إلى حد ما، بنيت حديثاً على قاعدة رياضية صلبة ومتينة، إذ برهن ثلاثة شبان نظريين، هم هوغ دافيد بوليتزر Hugh Daved Politzer (من هارفارد)، ودافيد غروس David Gross وفرانك ويلتشيك Frank Wilczek (من برنستون)، في عام ١٩٧٣، على أنه: في إطار فئة خاصة من نظرية الحقل الكمومية، لا بد للقوة العاملة بين الكواركات من أن تتناقص شدتها فعلاً حين تتقارب كثيراً. (إن فئة النظريات هذه، هي فئة «نظريات المعايرة اللاآبلية»[1]، وقد سميت كذلك لأسباب تقنية أقوى من أن نشرحها هنا). ولهذه النظريات ميزة خاصة هي ميزة «الحرية المقاربة»، وهي تعني أنه عندما تتناقص المسافة أو عندما تتزايد الطاقة تزايداً تقاربياً (أي أقرب ما يكون للتدرج)، تتصرف الكواركات عندئذ وكأنها جسيمات حرة (لا تقيدها القوى). زد على ذلك، أن ج. س. كولينز و م. ج. بيري من جامعة كامبردج، برهنا أن خواص وسط حرارته وكثافته مرتفعتين إلى الحد الكافي، هي عملياً (في كل نظرية تؤدي إلى الحرية المقاربة) خواص هذا الوسط نفسها إذا كان مكوناً من جسيمات حرة طليقة. وبهذا الشكل، تزودنا الحرية المقاربة في نظريات المعايرة اللا آبلية، بتمثيل بسيط جداً لجزء المئة الأولى من الثانية، أي عندما كان الكون مؤلفاً من جسيمات أولية طليقة.

ويطبق نظام الكواركات تطبيقاً جيداً في مسائل متنوعة وكثيرة. من ذلك أن البروتون والنوترون يتصرفان فعلاً وكأن كلاً منهما يتألف من ثلاثة كواركات، والميزون«رو»كأنه مؤلف من كوارك ومضاده، وهكذا دواليك. إلا

(١) non - abelian gauge theory.

أن نموذج الكواركات، على الرغم من نجاحه، يضـع أمامنـا لغزاً محيـراً، إذ تبين لنا حتى الآن أن من المستحيل تفكيك أي هادرون إلى كواركاته المكونـة له، حتى في أعلى الطاقات الجاهزة حالياً لدينا في مسرعات الجسيمات.

ونصادف استحالة عزل كواركات حرة أيضاً في الكوسمولوجية. ذلك أنه لو صح أن الهادرونات تتفكـك إلى كواركـات أولية في ظـروف درجة الحـرارة المرتفعة التي سادت في بداية الكون، لكان باستطاعتنا عندئذ أن نلاحظ حالياً بعض الكواركات الحرة التي ظلت أثراً باقياً منذ تلك الفترة. وقـد قدر الفلكي الفيزيائي زيلدوفيتش أن هذه الكواركات الحرة، كـان من المفروض أن تكـون ندرة عددها حالياً كندرة الذهب. ولكن الحصول على غـرام من الذهب، مـع قلة وفرته الغنية عن البيان، يظل أيسر من تحصيل غرام من الكواركات.

إن اللغـز الذي يـطرحه عـدم وجود كـواركات معـزولة وطليقـة هـو أهم مشكلة مطروحة حالياً في الفيزياء النظرية. وقد اقترح غـروس وويلتشيك وأنـا مستقلين، تفسيـراً مقبولاً يقـوم على خاصـة «الحريـة المقاربـة»، وهي أنه إذا كانت قوة التأثير المتبادل بين كواركين تتنـاقص عندمـا يتقاربـان، فلا بـد لهذه القوة كذلك أن تتزايد عندما يتباعدان. وعلى هذا: فكلما تزايدت المسافـة في هادرون عادي، تتـزايد الـطاقة الـلازمة لعـزل أحد كـواركاتـه عن الكواركـات الأخـرى، وتظل كـذلك، إلى أن ينتهي بهـا الأمر لأن تصبـح من الكبر بحيث تولد من جديد زوجاً هو كـوارك ـ كوارك مضـاد من الفراغ. ويمكن تشبيـه هذا الوضع بما يحدث عندما نحـاول عزل أحـد طرفي الحبـل، فإذا شـددناه بقـوة كبيـرة، عنـدئـذ ينقـطع الحبـل، ولكننـا سنحصـل على حبلين لكـل منهمـا طرفان[١]. فالكواركات كانت في بداية الكون متقاربة إلى الحد الكافي لأن لا تعاني ذلك التأثير المتبـادل، وأن تسلك بالتـالي سلوك جسيمات حـرة. ولكن جميع الكواركات التي كانت موجودة في ذلك العهد، كان لا بد لها عند توسع

---

(١) ولن نحصل على طرف واحد أبداً

(المترجم).

الكون وابتراده، من أن تتفانى مع كواركات مضادة، أو أن تجد مكاناً لاستراحتها داخل بروتون أو نوترون.

هذا ما يتعلق بالتأثيرات المتبادلة القوية، ولكننا سنجد أيضاً مشاكل جديدة عندما نعود في الزمن نحو البداية نفسها.

فمن النتائج المشوقة حقاً للنظريات الحديثة حول الجسيمات الأولية، أن الكون كان ـ كما نقدر ـ قد مر **بنقلة في الطور** (أو تغير حالة)، أي كما يتجمد الماء عندما تهبط درجة حرارته إلى ما دون ٢٧٣ كلفن (أو صفر درجة مئوية). وهذا الانتقال (أو التحول) لا علاقة له بالتأثيرات المتبادلة القوية، وإنما هو مرتبط بصنف آخر من التأثيرات المتبادلة ذات المدى القصير، المعروفة في الفيزياء باسم التأثيرات المتبادلة **الضعيفة**.

هذه التأثيرات (المتبادلة الضعيفة) مسؤولة عن بعض عمليات تفكك إشعاعي كما هو الأمر في تفكك نوترون طليق (انظر جدول خواص بعض الجسيمات)، وبوجه عام هو مسؤول عن كل تفاعل يتدخل فيه نوترينو (انظر الجدول نفسه). وهذه التأثيرات المتبادلة كما يدل عليها اسمها، أضعف بكثير من التأثيرات المتبادلة القوية أو الكهرطيسية. فمثلاً، عندما يحدث اصطدام بين إلكترون ونوترينو بطاقة تبلغ مليون إلكترون ـ فولت، تكون القوة الضعيفة الداخلة في هذه العملية قريبة من جزء من عشرة ملايين (10^{-7}) من القوة الكهرطيسية التي يتبادلها إلكترونان عندما يحدث اصطدامهما بالطاقة نفسها.

وعلى الرغم من ضآلة التأثير المتبادل الضعيف، إلا أن فكرة إمكان وجود علاقة وثيقة بينه وبين التأثير المتبادل الكهرطيسي راودت الأذهان منذ أمد طويل. وقد اقترحت أنا (١٩٦٧) ثم عبد السلام (١٩٦٨، باكستان) مستقلين، نظرية حقل موحد لهذين النمطين من التأثيرات المتبادلة. وقد تنبأت هذه النظرية بوجود صنف جديد من التأثيرات المتبادلة القوية، أشير إليها باسم «تيارات حيادية». وقد تأكد وجود هذه التأثيرات تجريبياً عام ١٩٧٣. ثم دعمت من جديد عند اكتشاف طائفة كاملة من الهادرونات الجديدة بدأت منذ

عام ١٩٧٤[1]. والفكرة الأساسية في نظرية من هذا النمط، هي أن الطبيعة تمتلك درجة عالية جداً من التناظر الذي يربط بين مختلف فئات الجسيمات وفئات التأثيرات المتبادلة، ولكنه محتجب خلف الظواهر العادية المألوفة. ونظريات الحقل المستخدمة منذ عام ١٩٧٣ لوصف التأثيرات المتبادلة القوية لا تختلف من الوجهة الرياضية عن ذلك (هذه النظريات هي نظريات المعايرة اللاآبليه). ويفكر العديد من العلماء الفيزيائيين الآن أن نظريات المعايرة يمكن أن تستخدم أساساً لتصورنا لسائر قوى الطبيعة: الضعيفة منها والكهرطيسية والقوية وربما التثاقلية. وتلقى وجهة النظر هذه دعماً من خاصة في نظريات المعايرة كان قد خمنها عبد السلام وأنا، ولكن الذي برهن عليها لأول مرة هو جيرهارد هوف Gerhard Hooft وبنيامين لي Benjamin Lee عام ١٩٧١، وهذه الخاصة تقول: إن مساهمات مخططات فاينمان المعقدة، على لا نهائيتها الظاهرية، تعطي نتائج منتهية لمعدلات جميع السيرورات الفيزيائية (من اصطدام وسواه).

إن الخاصة التي تهمنا في نظريات المعايرة من أجل دراسة بداية الكون، هي أنها تتنبأ، كما أشار إلى ذلك عام ١٩٧٢ د.آ. كيرزنيت D.A. Kirznits و آ.د. ليند A.D. Linde من معهد ليبيديف في موسكو، بتغير الحالة (انتقال من طور إلى طور)، ونعني بذلك نوعاً من التجلد في «درجة حرارة حرجة» تقرب من مليون مليار درجة كلفن (10^{15}ك). ففي درجات أدنى من هذه الدرجة الحرجة، كان الكون كما نعرفه حالياً: أي أن التأثيرات المتبادلة الضعيفة كانت قصيرة المدى وضعيفة الشدة، ولكن فوق هذه الدرجة تجلت الوحدة العميقة بين التأثيرات المتبادلة الضعيفة وبين الكهرطيسية،

---

(١) إن التأكيد التجريبي الحاسم لم يتحقق. إلا في عام ١٩٧٨. وفي إثره منح العالمان جائزة نوبيل للفيزياء، إذ أكدت التجربة التي أجريت بواسطة مسرع ستانفورد الخطي في الولايات المتحدة صحة توحيد القوتين الكهرطيسية والضعيفة ضمن النسبة المتوقعة تماماً

(المترجم).

بمعنى أن التأثيرات المتبادلة الضعيفة أبدت عندئذ ارتباطاً مماثلاً لارتباط التأثير المتبادل الكهرطيسي مع المسافة (القوة متناسبة عكساً مع مربع المسافة)، كما كانت شدتها تماثل الأخرى.

والتشابه بين هذه الظاهـرة وبين ظاهـرة تجلد كأس المـاء مفيدة تـوضح هذا الأمر. ففـوق درجة التجمـد يظهـر الماء على درجـة عاليـة من التجانس، بمعنى أن احتمـال تـوضـع جـزيء المـاء لا يتغير من نقـطة إلى أخـرى في الكـأس. ولكن عندمـا يتجلد الماء، ينكسـر هـذا التنـاظـر بين مختلف نقـاط الفضاء جزئياً: إذ يشكل الجليد عندئذ شبكة بلورية تحتل فيهـا جزيئـات الماء مـواضع متبـاعدة بـانتظام. ولكن خـارج هذه الشبكـة، يصبح احتمـال وجـود جزيء ماء شبه معدوم . وبطريقة ممـاثلة، فقد كسـر التناظـر ساعـة «تجلد» الكـون، أي عندمـا هبطت درجـة الحرارة إلى مـا دون ٣ مليـون مليـار درجـة كلفن ـ لم يفسد التجانس المكـاني، بل التنـاظر الـذي كان قـائماً حتى ذلـك الحين بين التأثيرات المتبادلة الضعيفة وبين الكهرطيسية.

يمكن أن نسير في هذا التماثل إلى أبعـد من ذلك. إذ نعـرف جميعاً أن المـاء حين يتجمد، لا يشكـل بلورة تامـة، وإنما يشكـل شيئاً أكثـر تعقيداً من ذلك، وهو تشابك مناطق بلورية تفصـل بينها مختلف أنمـاط اللاانتـظام. ترى هـل تكونت منـاطق مماثلة سـاعة تجلد الكـون، وهل نحن نعيش في منـطقـة كهذه انكسر فيها التناظر بين التأثيرات المتبادلة الضعيفة والكهـرطيسية بـطريقة خاصة، بحيث أننا سنكتشف يوماً ما عرضاً مناطق أخرى؟.

لقـد قادنـا خيالنـا حتى هذه اللحـظة إلى الوراء، وإلى درجـة حـرارة ٣ مليون مليار كلفن، وكل ما كـان علينا أن نفعله هـو أن ننظر في أمـر التأثيـرات المتبادلة القوية والضعيفة والكهرطيسيـة، ولكن ماذا عن الفئـة الأخيرة الكبـرى من التأثيرات المتبادلة المعروفة في الفيزياء، وهي التأثيرات المتبادلة الثقـالية؟ لقـد لعبت هذه التـأثيـرات طبعـاً، دوراً كبيـراً في تـاريخنـا، لأنهـا تتحكم في العلاقة القائمة بين كثافة الكـون وبين سرعة توسعـه. إلا أننا لم نستـطع حتى

الآن أن نبرز أي تأثير للثقالة في الخواص **الداخلية** لجـزء ما من أجـزاء الكون عند بدايتـه. ويفسرون ذلـك بالضعف الهـائل في قـوى الجاذبيـة، فمثلاً، إن الجذب الثقالي الذي يحدث بين البروتون والإلكتـرون في ذرة هيدروجين هـو أضعف من الجذب الكهربائي بنسبة تساوي القوة الـ ٣٩ للعدد ١٠ ($١٠^{٣٩}$).

(إن إنتاج الجسيمات في حقول الجاذبية الثقاليـة هو مثـال كوسمـولوجي معبر عن ضعف قوة هذه الحقول. وقـد أشار ليـونارد بـاركر Leonard Parker من جامعة ويسكونس إلى أن تأثيرات «مد وجـذر» حقل الجـاذبية، أصبـح بعد جزء من مليون مليـار المليار من الثـانية ($١٠^{-٢٤}$ ثـانية) من بـدء الكون، على درجـة لا بأس بهـا من الأهمية من حيث تـوليد أزواج الجسيمـات من الفراغ. ولكن الثقالة كانت لا تزال من الضعف (في درجات الحرارة هـذه) بحيث ظل عدد الجسيمات المتولدة بهذه الطريقة مهملاً أمام عدد الجسيمات التي كانت موجودة في حالة توازن حراري.

على أن من الممكن أن نتخيـل زمنـاً أصبحت فيـه لقـوى الثقـالـة شـدة تساوي شدة التأثيرات المتبـادلة القـوية التي سبق الحـديث عنها. إذ إن حقـل الثقالة لا ينشـأ فحسب من كتل الجسيمـات الماديـة، بل ينشـأ كذلـك من كل أشكـال الطاقـة. فالأرض (مثـلاً)، تدور حـول الشمس بسرعـة أكبر قليـلاً من سرعة دورانهـا حين تكون بـاردة، لأن الطاقـة الحراريـة للشمس تساهم بقسط صغير إضافي في مصدر حقلها الثقالي. وفي درجات حرارة شديـدة الارتفاع، يمكن لـطاقة الجسيمـات الموجـودة في حالـة تـوازن حـراري، أن تكـون من الأهمية بحيث تصبح قوى الثقالة التي تتبادل تأثيرهـا، مضاهيـة لشدة الأنمـاط الأخرى من التأثيرات المتبادلة. ويمكن أن نقدر درجة الحرارة التي يحدث فيها ذلك بما يقرب من مئة ألف مليار المليار المليار درجة كلفن ($١٠^{٣٢}$).

في درجة حرارة كهذه يمكن أن يحدث كذلك كل شيء غريب، إذ ليس فحسب أن قوى الثقالة تكون شديدة وتولد عـدداً كبيراً من الجسيمـات، بل إن فكرة الجسيم نفسها تفقد عندئذ كل مدلول. وكذلك تكـون مسافـة الأفق (في

هذه الفترة)،أي المسـافة التي لا يمكن أن يستقبـل من بعدهـا إشارة مـا،(انظر الشكل ٦ مع الحاشية)،أصغر من طول مـوجة جسيم نمـوذجي في حالـة توازن حراري. ويمكن أن نقول مـع شيء من التجاوز، إن كـل جسيم يكون عنـدئذ كبيراً كبر الكون الذي يمكن ملاحظته منه.

أمـا عن تاريـخ الكون قبـل هذه اللحـظة فنحن لا نعـرف مـا يكفي عن الطبيعة الكمـومية للثقـالة لكي نتـأمل فيـه على الأقل بـوعي وإدراك. وكل مـا نستطيع أن نفعله هو أن نقدر تقديراً فجاً أن درجة الحرارة هذه ($١٠^{٣٢}$° ك) قـد أتت بعد البداية بما يقرب من $١٠^{-٤٣}$ ثانية، ولكن لسنا على يقين من أن هـذا التقدير له أي مدلول. وهكذا نرى أنه أيـاً كان شـأن الحواجـز التي نجحنا في رفعها من أمامنا، فقد ظل هناك حـاجز عنـد الدرجـة $١٠^{٣٢}$ ما زال يحجب عن ناظرينا كل اللحظات الأولى السابقة من تاريخ الكون.

ومهما يكن من أمر، فإن أياً من الريب السابقـة لن يكون لهـا شأن كبيـر من وجهة نظر الفلك حـالياً في عـام ١٩٧٦. والمهم في الأمر هـو أن الكون، طوال الثانية الأولى من تاريخـه، كان على الأرجـح في حالـة توازن حـراري، وأن أعـداد جميع الجسيمـات وتوزعـاتها فيـه، بما فيهـا النوتـرينـوات، يمكن تعيينها بقوانين الميكانيك الإحصائي لا بتفاصيل تاريخه السابق، إذ إننا عندمـا نقيس الوفرة الحالية للهيليوم وللإشعاع الراديوي، أو حتى للنوترينوات، نلاحظ آثاراً باقية من حالة توازن حراري كان قد انتهى عند انتهاء الثانيـة الأولى. وفي الحالة الـراهنة لمعـارفنا، نستـطيع أن نؤكـد أن لا شيء مما يمكن مـلاحظتـه الآن، يتعلق بتـاريخ الكـون السابق لهـذه اللحظة. (ونخص من ذلـك، أن لا شيء مما نلاحظه حالياً يتعلق بحقيقة أن الكـون كان متمـاثل المنـاحي أم لا، ومتجـانساً أم لا، قبـل الثانيـة الأولى. هذا فيمـا عدا ربمـا النسبة فـوتونـات ـ جسيمات نووية ذاتها). ونحن هنـا، كأننـا أمام عشـاء هيىء بعنايـة فائقـة، إذ أحضرت أنضر المنتجات وأفخر الحلويات وأطيب الخمور مـذاقاً، ثم وضعت هـذه الأطعمة كلهـا كيفما اتفق في قـدرة كبيرة ظلت تغلي على النـار ساعـات

طويلة. وعندئذ سيجد خير ذواقة بين المدعوين مشقة كبيرة في معـرفة مـا قدم له في طبقه.

على أن هناك احتمالاً واحداً. فالثقالة كـالكهرطيسيـة، يمكن أن تتجلى على شكل أمواج، تماماً كمـا تتجلى على الشكل الأكثـر ألفة وهـو التأثيـر عن بعد سكوني. فمثلاً، يتدافع إلكترونان في وضع السكون بقوة كهرساكنيـة تتعلق شدتها بالمسافة التي تفصل بينهمـا، ولكن إذا أرغمنا أحـد هذين الإلكتـرونين على حركة اهتزازية، فإن الآخر لن يشعر بأي تعديل على القـوة التي تؤثر فيـه ما لم تأخذ الموجة الكهرطيسية زمناً كافياً لأن تحمل إليه نبأ تغير المسـافة التي تفصله عن الأول. وغني عن القـول، أن هذه الأمـواج تنتشر بسـرعة الضـوء، لأنها هي الضوء، حتى لـو لم نشعر بهـا بالضـرورة. وبالمثـل إذا أمسك مـارد سيء النية بالشمس، وراح يهـزها، فـإننا لن نشعـر بتأثيـر ذلك في الأرض إلا بعد ثماني دقائق، لأن هذا هو الزمن اللازم للموجـة كي تنتشر بسـرعة الضـوء من الشمس إلى الأرض. ولسنـا هنا بصـدد موجـة ضـوئيـة نـاتجـة عن حقـل كهربائي ومغناطيسي، بل نحن بصـدد موجـة ثقاليـة، أي اهتزاز حقـل ثقالـة. وهنا كما في حالة الأمواج الكهرطيسية، تضع سائر الأمواج الثقالية من مختلف أطوال الموجات تحت اسم «إشعاع ثقالي».

إن الإشعاع الثقالي، يتبـادل التأثيـر مع المـادة بكثير من الضعف، فهـو أضعف من الإشعاع الكهرطيسي، لا بل إنه أضعف من النوترينوات (وهذا هـو السبب في أن أكثر الجهود حماساً ودأباً لم تفلح بعد في إظهار الأمواج الثقالية الصادرة عن منبع مـا، هذا، على الـرغم من أننا نستـطيع أن نعتقـد منصفين، بـوجود إشعـاع ثقالي على أسـاس من الاعتبارات النـظرية). وعلى هـذا فـإن التـوازن الحراري الـذي كان قـائماً بين الإشعـاع الثقـالي وبين بقيـة الكـون، سينتهي أمـره في وقت مبكر ـ وبـالتحديـد عندمـا بلغت درجة الحـرارة حوالي $١٠^{٣٢}$ ك. ومنذ ذلك الحين، تناقصت درجة الحرارة الفعلية لـلإشعاع الثقـالي بتنـاسب عكسي بسيط مع قـدر الكون. وهـذا بالضبط قـانون التنـاقص الـذي تخضـع له درجـة حرارة مـا تبقى من الكون، هـذا فيما عـدا أن تفاني الأزواج

كوارك ـ كوارك مضاد، وليبتون ـ ليبتون مضاد لا يسخن الإشعاع الثقالي. وعلى هذا، لا بد أن الكون الحالي ممتلىء بإشعاع ثقالي درجة حرارته تماثل درجة حرارة ما تبقى من الكون حالياً، ولكنها أقل من درجة النوترينوات والفوتونات ـ وربما كانت قريبة من ١ درجة كلفن. إن كشف هذا الإشعاع هو بحد ذاته بّيِّنة تأتينا من اللحظات الأولى لتاريخ الكون، التي رأينا أنها طيعة للفيزياء النظرية الراهنة. ولكن للأسف، لا يبدو في مستقبل قريب أن هناك بارقة أمل في أن نلاحظ خلفية إشعاع ثقالي درجة حرارته ١ كلفن.

وهكذا، وبعد أن رجعنا إلى جملة تأملات نظرية مختلفة، استطعنا أن نستقرىء تاريخ الكون، وأن نتوصل، عائدين القهقري في الزمن، إلى لحظة كانت الكثافة فيها لا نهائية.طبعاً، لا نود أن نعرف ماذا كان هناك قبل هذه اللحظة، أي قبل أن يبدأ توسع الكون وابترداه.

ومن المحتمل أن لا تكون هناك أبداً في الحقيقة حالة كثافة لا نهائية، فالتوسع الراهن للكون ربما بدأ في نهاية عصر من الانكماش السابق، أي عندما بلغت الكثافة قيمة مرتفعة جداً، ولكنها محدودة، وهذه الإمكانية سأتعرض لها قليلاً في الفصل القادم.

ولكن على الرغم من أننا لسنا على يقين من أن هذه اللحظة قد وجدت فعلاً، إلا أن من الممكن، منطقياً على الأقل، أن تكون هناك بداية، وأنه لم يكن للزمن معنى قبلها. وإذا اعتدنا مثلاً على فكرة الصفر المطلق لدرجة الحرارة، وأن من المستحيل أن نخفض درجة الحرارة إلى ما يمكن أن يكون هو دون الدرجة ـ ٢٧٣,١٦ درجة مئوية، فهذا لا لأن ذلك صعب جداً أو لأن أحداً لم يتصور ثلاجة عبقرية، بل ببساطة لأن درجة حرارة أدنى من الصفر المطلق لا معنى لها ـ إذ لا يمكن أن يكون هناك حرارة أقل من عدم وجود الحرارة. وعلى نحو ذلك، قد يكون علينا أن نعتاد على فكرة صفر مطلق للزمن ـ أي لحظة في الماضي يستحيل أن نتخيل قبلها مبدئياً تعاقباً في الأسباب والنتائج. وعلى كل حال، يظل السؤال مطروحاً، بل ربما سيظل كذلك دائماً وإلى الأبد.

أما بالنسبة لي، فإن أكثر ما يثلج الصدر من الأمور التي خرجنا بها من هذه التأملات حول أولى لحظات الكون الباكرة، هو إمكانية وجود توازٍ بين تاريخ الكون وبين بنيته المنطقية. فالطبيعة تكشف اليوم عن تنوع هائل في أنماط الجسيمات وفي أنماط التأثيرات المتبادلة. ومع ذلك، فقد تعلمنا أن ننظر إلى ما وراء هذا التنوع وأن نحاول النظر إلى مختلف الجسيمات والتأثيرات المتبادلة على أنها مظاهر لنظرية حقل معايرة موحد ليس إلا. إن كوننا الحالي بارد لدرجة أن التناظر بين مختلف الجسيمات والتأثيرات المتبادلة، يبدو أنه قد خيم عليه ظلام تجلد من نوع ما. فهذه التناظرات لا تتجلى اليوم في الظواهر العادية المألوفة، ولكن أمكن التعبير عنها رياضياً في نظرياتنا عن حقل المعايرة. وهذا الشيء الذي تحقق اليوم بالرياضيات، سبق أن تحقق في لحظات الكون الباكرة جداً بالحرارة، فهو ليس سوى ظاهرة فيزيائية كشفت عن بساطة الطبيعة الأصيلة ولكن أحداً لم يكن آنئذ هناك ليشاهدها.

رؤى للمستقبل

لا شك أن الكون سيستمر في توسعه ردحاً من الزمن، فماذا عن مصيره الآتي؟ إن النموذج القياسي لا يقدم لنا شيئاً عن ذلك سوى تلك النبوءة الهزيلة المضحكة، وهي أن الأمر كله يتوقف على الكثافة الكونية: أهي أدنى من الكثافة الحرجة أم أعلى منها.

فإذا كانت كثافة الكون ـ كما رأينا في الفصل الثاني ـ أدنى من الكثافة الحرجة، عندئذ يكون امتداد الكون لا نهائياً، وتوسعه سيستمر إلى الأبد. وسيرى أحفادنا إذا ظل منهم أحد، التفاعلات النووية تتوقف تدريجياً في سائر النجوم، تاركة أنواعاً مختلفة من الرماد: منها النجوم الأقزام السوداء، ومنها نجوم مكونة من نوترونات، وربما كذلك ثقوب سوداء. والسيارات ستتمكن من الدوران في أفلاكها مبطئة جريانها بعض الشيء بسبب إصدارها للأمواج الثقالية، ولكنها لن تكف عن حركتها إلا بعد زمن معين. وأما الخلفيات الكونية للإشعاع والنوترينوات فستتابع ابترادها بتناسب عكسي مع قدر الكون، ولكن لن يشعر بها أحد، إذ إننا الآن حالياً لم نكشف عن وجود خلفية إشعاع راديوية ذات درجة ٣° ك إلا بالجهد الجهيد.

وعلى العكس، إذا كانت الكثافة الكونية أعلى من الكثافة الحرجة، عندئذ يكون الكون منتهياً، وسيقف توسعه عند حد يتبعه بعدئذ انكماش متسارع. فإذا كانت الكثافة الكونية، على سبيل المثال، ضعفي الكثافة الحرجة، وقيمة ثابت هبل المقبولة عادة في الوقت الحاضر (١٥ كيلو متراً في

الثانية لكل مليون سنة ضوئية) هي القيمة الصحيحة، فإن الكون يبلغ من العمر الآن عشرة مليارات سنة، وسيستمر ٥٠ مليار سنة أخرى، ثم يبدأ بعدها بالانكماش (انظر الشكل ٤). والانكماش ببساطة، يسير في سيرورة معاكسة للتوسع، فبعد ٥٠ مليار سنة أخرى، سيعود الكون إلى قدره الحالي، وبعد ١٠ مليارات سنة من ذلك سيقترب من حالة فريدة فيها الكثافة لا نهائية.

في أثناء الطور الأول من الانكماش على الأقل، يمكن للفلكيين (إذا ظل منهم أحد) أن يلهوا بملاحظة الانحرافات نحو الأزرق ونحو الأحمر. إذ إن الكون سيكون عند صدور الضوء عن الأجرام القريبة أكبر مما هو عند مشاهدة ذلك الضوء، فسيبدو هذا بالتالي منحرفاً نحو الموجات القصيرة في الطيف، أي نحو الأزرق. أما ضوء الأجرام البعيدة، فعلى العكس، يكون قد صدر لحظة بدأ الكون توسعه لتوه، أي عندما كان صغيراً، وسيرى الفلكي بالتالي ذلك الضوء منحرفاً نحو الموجات الطويلة، أي نحو الأحمر.

ستهبط درجة حرارة الخلفية الكونية للفوتونات والنوترينوات، ثم ترتفع تبعاً لانتقال الكون من طور التوسع إلى طور الانكماش، وستتغير دائماً بتناسب عكسي مع قدر الكون. فإذا كانت الكثافة الكونية حالياً هي ضعفي القيمة الحرجة، فإن حساباتنا تدل على أن الكون سيصبح عندما يبلغ حده الأعظمي، أكثر امتداداً بمرتين مما هو الآن، وستبلغ درجة حرارة الخلفية الراديوية نصف قيمتها الحالية ٣° ك، أي ستصبح ١,٥ درجة كلفن، ثم تعود إلى الارتفاع من جديد عندما يبدأ الكون انكماشه.

لا شيء في البدء يشير إلى هذا التغيير ـ ففي غضون مليارات السنوات ستبرد الخلفية الكونية حتى ليتعذر جداً كشفها. ولكن عندما يتناقص قدر الكون إلى جزء من مئة من قيمته الحالية، ستبدأ خلفية الإشعاع بغمر السماء، وستصبح هذه حارة في الليل (٣٠٠ درجة كلفن، أو ٢٧ درجة مئوية) أي على قدر ما هي سماء النهار حارة حالياً. وبعد مرور عشرة ملايين سنة على ذلك،

سيفقد الكون أيضاً ٩/١٠ من قدره، وسيجد ورثتنا (إذا ظل لنا ورثة) أن السماء لا يحتمل لمعانها. ستبدأ الجزيئات في أجواء النجوم والسيارات بالتفكك إلى ذراتها المكونة لها. وستنفصل إلكترونات الذرات عن نواها لتصبح حرة طليقة. وبعد ٧٠٠ ٠٠٠ سنة أخرى ستصل درجة حرارة الكون إلى عشرة ملايين درجة، ثم تذوب النجوم والسيارات في حساء كوني من الإشعاع مكوّن من إلكترونات ونوى ذرية. وبعد اثنين وعشرين يوماً من ذلك سترتفع درجة الحرارة إلى عشرة مليارات درجة، وعندئذ ستبدأ النوى بالتفكك إلى بروتوناتها وإلكتروناتها المكونة لها، مفسدة بذلك عمل التركيب النووي الذي اشتركت فيه الكوسمولوجية والنجوم. وبعد زمن قصير، ستتولد أزواج الإلكترون ـ بوزيترون نتيجة لاصطدام الفوتونات بعضها ببعض، وستدخل الخلفية الكونية، للنوترينوات من جديد في شراكة حرارية مع بقية الكون.

ترى هل نستطيع حقاً أن نمضي في هذه القصة المحزنة حتى نهايتها، أي إلى حالة درجة حرارة وكثافة لا نهائيتين؟ وهل سيتوقف الزمن بعد ثلاث دقائق من بلوغ درجة الحرارة مليار درجة؟ لا يمكننا طبعاً التأكد من ذلك، إذ إن كل الريب والشكوك التي صادفناها في الفصل السابق عندما حاولنا استكشاف جزء المئة الأولى من الثانية الأولى، ستعاود بث الحيرة في نفوسنا عندما نتفحص جزء المئة الأخيرة من الثانية الأخيرة. علينا قبل كل شيء أن نأخذ في حسابنا أن الكون بأكمله يجب أن يوصف بلغة الميكانيك الكمومي عند درجات الحرارة الأعلى من ١٠٠٠٠٠ مليار المليار المليار درجة ($١٠^{٣٢}$ ك)، ولكن لا أحد حالياً لديه أدنى فكرة عما يمكن أن يحدث في مثل هذه الظروف. زد على ذلك أنه إذا لم يكن الكون فعلاً متماثل المناحي ومتجانساً (انظر نهاية الفصل الخامس)، فإن قصتنا كلها يمكن أن تفقد عندئذ صلاحيتها، وحتى قبل أن يكون علينا التعرض للمسائل الكوسمولوجية الكمومية.

ولكن بعض الباحثين في الكوسمولوجية تستضيء آمالهم من هذه الشكوك ذاتها. إذ لربما يحدث شيء من قبيل «الانتفاضة» الكونية، تكون

بشيراً بعصر كوني جديد. ففي الإده Edda (راجع الفصل الأول)، تتهدم الأرض بالنار والماء بعد المعركة النهائية التي تستعر بين الآلهة والمرده في رانيوراك Ragnorak، ولكن الماء ينحسر بعد حين، ويصعد أبناء ثور Thor من الجحيم، حاملين مطرقة أبيهم، ثم يعيد العالم كله سيرته من جديد. ولكن إذا حدث أن توسع الكون، فسيتباطأ من جديد، إلى أن يتوقف، وسيتلو توقفه هذا طور آخر من الانكماش يختتم برانيوراك كونية جديدة (أي بندمار جديد) يتلوها انتفاضة أخرى وهكذا دواليك حتى أبد الآبدين.

إذا كان هذا هو مستقبلنا، فعلى الأرجح كان كذلك ماضينا. وبذلك لن يكون الكون الحالي سوى طور تالٍ لآخر انكماش وآخر انتفاضة. (ثم إن ديك وبيبلز ورول وويلكينسون يفترضون في مقالتهم المنشورة عام ١٩٦٥ حول الخلفية الكونية للإشعاع الراديوي، وجود طور سابق وكامل من التوسع والانكماش الكونيين، ويبررون رأيهم هذا، بأن الكون لا بد أنه قد انكمش بما يكفي لأن ترتفع درجة الحرارة على الأقل إلى ١٠ مليارات درجة، أي إلى الدرجة اللازمة لانشطار العناصر الثقيلة التي تكونت خلال الطور السابق). فإذا وجهنا أنظارنا نحو الماضي السحيق، نستطيع أن نتخيل دورة لا نهاية لها من التوسعات والانكماشات كانت قد امتدت في الماضي ومنذ الأزل دون أن يكون هناك بداية لكون على الإطلاق.

لقد أعجب بعض الكوسمولوجيين فلسفياً بهذا النموذج المهتز أيما إعجاب، لا سيما أنه، على عكس النموذج الاستقراري، يتجنب مسألة النشوء والتكوين. إلا أنه يصطدم بعقبة نظرية قاسية، إذ إن النسبة فوتونات - جسيمات نووية (أو بتحديد أكثر الأنطروبية المقابلة لكل جسيم) ستعاني خلال كل دورة تزايداً خفيفاً، وهذا التزايد هو نتيجة لنوع من الاحتكاك (يدعى اللزوجة الداخلية أو الحجمية Bulk Viscosity) ينجم عن الأطوار المتلاحقة مع التوسع والانكماش. فبحسب معلوماتنا سيبدأ الكون كل دورة بنسبة جديدة بين الفوتونات وبين الجسيمات النووية، هي أكبر قليلاً من سابقتها. وهذه

النسبة حالياً، هي كبيرة، ولكنها منتهية فكيف أمكن إذاً للكون أن يعاني في الماضي عدداً غير منته من الانكماشات والتوسعات!

ومهما يكن من أمر، فإن هذه المسائل الكوسمولوجية قد تجد لها حلاً، ولكن مهما كان أمر النموذج الذي ستتبين صحته، فإنه ليس بينها نموذج مريح ومطمئن. إذ يكاد يستحيل على بني الإنسان ألا يعتقدوا بوجود علاقة خاصة بينهم وبين الكون، وأن الحياة، ليست مجرد نهاية مضحكة لعوارض متتالية تعود في الماضي إلى الدقائق الثلاث الأولى. بل، نحن بشكل ما (نميل إلى الاعتقاد) بأننا كنا منذ البداية في التصميم (وأننا غاية الوجود). فها أنذا عند كتابة هذه السطور، في طائرة تحلق فوق ولاية فيومينغ على ارتفاع ١٠٠٠٠ متر، في طريق العودة من سان فرانسيسكو إلى بوسطن، والأرض تحتي تبدو حانية مريحة: ـ غيوم مخملية هنا وهناك، ثلوج متوردة تحت أشعة الشمس الغاربة، طرقات تمتد من مدينة إلى أخرى عبر البلاد. فما أصعب أن نصدق أن هذا كله ليس سوى جزء ضئيل من كون ماحق عدواني. بل وأصعب من ذلك أن نتحقق أن هذا الكون قد تطور من ظروف ابتدائية تكاد تكون غير مألوفة، ولا يمكن تصورها إلا بالجهد الجهيد، وأنه سيخبو يوماً ما في برودة لا حدود لها أو أنه سيصير إلى جحيم مسعور. حقاً أن الكون كلما بدا طيعاً للإدراك، بدا عبثاً غير مقبول.

ولكن إذا كانت ثمار بحثنا تخفف عنا شيئاً من عنائنا، فلا أقل من أن نجد في أبحاثنا نفسها بعض العزاء. فالرجال والنساء لا يكتفون بطلب الطمأنينة من حكايا الآلهة والمردة، أو من إغراق أنفسهم في مسائل الحياة اليومية، بل إنهم يبنون كذلك مناظير فلكية وتوابع صنعية ومسرعات، ثم يجلسون ساعات خلف مكاتبهم يبحثون عن مدلول هذه المعطيات التي جمعوها. فالسعي عن رضى لفهم الكون هو من الأشياء النادرة التي تسمو بالإنسان فوق مستوى الترهات، وتنعم عليه بشيء من شرف المشاركة في هذه المسرحية المأساوية.

جدول رقم «٢» خواص بعض نماذج الإشعاع

درجة الحرارة المميزة بالكالفن	طاقة فوتون بالإلكترون فولت	طول الموجة بالسنتيمتر	
$< 0{\cdot}03$	$< 0{\cdot}00001$	> 10	الراديوية «حتى العالية التواتر»
0·03 - 30	0·00001 - 0·01	0·01 - 10	المليمترية
30 -3000	0,01-1	0,0001-0,01	تحت الحمراء
3000 - 15000	1 - 6	$2 \times 10^{-5} - 10^{-4}$	المرئية
15000 - 3000 000	6 - 1000	$10^{-7} - 2 \times 10^{-5}$	فوق البنفسجية
$3 \times 10^{6} - 3 \times 10^{8}$	1000 - 100 000	$10^{-9} - 10^{-7}$	الأشعة السينية
$>3\times10^{8}$	$> 100\ 000$	$< 10^{-9}$	إشعاعات غما γ

خواص بعض أنماط الإشعاع: يختص كل نمط من الإشعاع بمجال معين لطول الموجة أعطي هنا بالسنتيمتر. ويقابل مجال طول الموجة هذا مجال لطاقة الفوتونات أعطي هنا بالإلكترون ـ فولت. «درجة الحرارة المميزة» هي درجة حرارة أحد إشعاعات الجسم الأسود عندما يكون القسم الأعظم من طاقته مركزاً في جوار طول الموجة المقصود، وقد أعطيت هذه الدرجة بالكلفن. . (مثلاً: كان طول الموجة التي ضبط عليه بنزياس وويلسون أجهزتهما عندما اكتشفا الخلفية الكونية للإشعاع هو ٧,٣٥ سم، فهذا إذاً إشعاع مليمتري. . طاقة الفوتونات المحررة في أثناء التحول الإشعاعي لنواة ذرية هي نموذجياً من رتبة مليون إلكترون ـ فولت، فالأمر هنا متعلق بأشعة غما. أخيراً، تقرب درجة الحرارة على سطح الشمس من ٥٨٠٠ درجة كالفن، لذلك تصدر الشمس أشعة مرئية). طبعاً لا يوجد انقطاع بين مختلف أنماط الإشعاع، فلا يمكن بالتالي أن يكون هناك اتفاق عالمي حول حدود مختلف مجالات طول الموجة.

جدول «١» خواص بعض الجسيمات الأوليّة

المجموعة	الجسيم	الرمز	طاقة السكون بملايين إلكترون فولت	درجة حرارة العتبة بمليارات الكالفن	العدد الفعلي للأنواع	مدة الحياة بالثواني
	فوتون	γ	0	0	$1 \times 2 \times 1 = 2$	مستقر
لبتونات	نوترينو	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	0	0	$2 \times 1 \times 7/8 = 7/4$	مستقر
لبتونات	نوترينو	$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	0	0	$2 \times 1 \times 7/8 = 7/4$	مستقر
لبتونات	إلكترون	e^-, e^+	0·5110	5,930	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	مستقر
لبتونات	مويون	μ^-, μ^+	105·66	1226·2	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	**$2{,}197 \times 10^{-6}$**
هادرونات	موزون بي	π°	134·96	1566·2	$1 \times 1 \times 1 = 1$	**$0{\cdot}8 \times 10^{-16}$**
هادرونات	موزون بي	π^+, π^-	**139·57**	**1619·7**	**$2 \times 1 \times 1 = 2$**	**$2{\cdot}60 \times 10^{-8}$**
هادرونات	بروتون	$p, \bar{p}$	938·26	10 888	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	مستقر
هادرونات	نوترون	$n, \bar{n}$	939·55	10 903	$2 \times 2 \times 7/8 = 7/2$	**920**

خواص بعض الجسيمات الأوليـة: «طاقـة السكون» هي الـطاقة التي تتحـرر عندمـا تتحول كتلة الجسيم كلها إلى طاقة. «درجـة حرارة العتبـة» هي ناتـج قسمة طـاقة السكـون على ثـابت بولتـزمان، وفـوق هذه الـدرجـة يمكن للجسيم أن يتـولـد تلقـائيـاً من الإشعـاع الحراري. «العدد الفعلي للأنواع» يعـطينا المشـاركة النسبيـة لكل نمط من الجسيمـات في الـطاقة والضغط والأنـطروبي جملةً عند درجات حرارة أعلى كثيـراً من درجة حـرارة العتبـة، ويكتب هـذا العدد على شكـل جداء ثـلاثة مضـاريب: الأول يساوي ٢ أو ١ حسبمـا يكون للجسيم جسيم مضاد مميز أم لا يكـون له، والثـاني هو عـدد التوجيهـات المحتملة (يمين، يسار) لسبين هذه الجسيمات، والثالث يساوي $\frac{٧}{٨}$ او ١ حسبما تكون الجسيمات خاضعة لمبـدأ باولي في الاستبعـاد أم لا. «مدة الحيـاة» هي متوسط الزمن الـذي يتفكـك الجسيم خلاله إشعاعياً إلى جسيمات أخرى.



شرح المفردات العلمية

1 ـ آندروميد أو المرأة المسلسلة (سديم): هو أقرب المجرات الكبيرة إلى مجرتنا. شكله حلزوني. يحوي ٣ × ١٠^١١ كتلة شمسية. رمز إليه في كتالوغ ميسييه بالرمز M31، وفي الكتالوغ العام الجديد بالرمز NGC224.

2 ـ آنغستروم: واحدة طول تساوي جزءاً من مئة مليون من السنتيمتر (١٠^-٨ سم). يشار إليه بالحرف T. القطر النموذجي لذرة هو من رتبة بضع آنغسترومات. أطوال الموجات المميزة للضوء المرئي هي عدة آلاف من الأنغستروم.

3 ـ انحراف نحو الأزرق (Décalage vers le bleu): انحراف خطوط الطيف نحو الأمواج القصيرة. وهو ينشأ عن مفعول دوبلر عند اقتراب مصدر الإشعاع من الراصد.

4 ـ انحراف نحو الأحمر: انحراف خطوط الطيف نحو الموجات الطويلة. وهو ينشأ عن مفعول دوبلر عند ابتعاد مصدر الإشعاع عن الراصد. في الكوسمولوجية، يلاحظ انحراف طيف الأجسام المبتعدة نحو الأمواج الطويلة. يشار إلى هذا الانحراف في عبارة التزايد النسبي لطول الموجة بالحرف Z.

5 ـ إلكترون: أخف الجسيمات الأولية ذات الكتلة. تتعين جميع الخواص الكيماوية للذرات والجزيئات بتأثير الإلكترونات الكهربائي بعضها في بعض وفي النوى الذرية.

6 ـ إلكترون ـ فولت (Electron - Volt): واحدة للطاقة مناسبة جداً للفيزياء الذرية، وهي تساوي الطاقة التي يكتسبها إلكترون حين ينتقل مسافة

يتغير فيها التوتر الكهربائي فولطاً واحداً. الإلكترون ـ فولت يساوي ١,٦٠٢١٩× $١٠^{-١٢}$ إرغه.

7 ـ أنظروبية (Entropie): هي إحدى المقادير الأساسية في الميكانيك الإحصائي، وترتبط بدرجة فوضى المنظومة الفيزيائية المعنية. تظل الأنطروبية ثابتة خلال كل سيرورة يحتفظ فيها بالتوازن الحراري. وينص المبدأ الثاني للترموديناميك على أن الأنطروبية لا يمكن أن تنقص في أي تفاعل.

8 ـ إرغه: هي واحدة الطاقة في الجملة السغثية (سنتيمتر ـ غرام ـ ثانية). إن الطاقة الحركية لكتلة غرام واحد عندما تنتقل بسرعة سنتيمتر في الثانية هي نصف إرغه.

9 ـ أفق نقطة من الكون: هو في الكوسمولوجية المسافة التي لا يمكن أن يصل من بعدها إلى هذه النقطة أية إشارة. إذا كان عمر الكون منتهياً، فإن المسافة التي تفصلنا عن خط الأفق هي من رتبة عمر الكون مضروباً بسرعة الضوء.

10 ـ أمواج الثقالة (Ondes de gravitation): هي أمواج حقل الثقالة، وتشبه أمواج الحقل الكهرطيسي. تنتشر أمواج الثقالة بسرعة الضوء نفسها، أي بسرعة ٢٩٩٧٩٢ كيلو متر في الثانية. وبوجه عام، لم يعرف عن وجود هذه الأمواج الشيء الكثير لكي يكشف عنها تجريبياً. ولكن النسبية العامة تستلزم وجودها، ولم يتعرض لها أحد بشكوك جدية. يدعى كوانتم إشعاع الثقالة، المماثل للفوتون، غرافيتون.

11 ـ أشعة كونية (Rayons cosmiques): جسيمات مشحونة ذات طاقة عالية تأتي من الفضاء الخارجي وتخترق جونا.

12 ـ انفجار كبير «Big Bang»(كوسمولوجية الـ . . . . .): نظرية تقول إن توسع الكون قد بدأ في لحظة معينة من الماضي كان فيها ضغطه وكثافته هائلين.

13 ـ باريونات (Baryons): صنف من الجسيمات يتحسس بالتأثيرات

المتبادلة القوية. وهي تشمل النوترونات والبروتونات، وكذلك الهادرونات غير المستقرة التي تدعى هبرونات (راجع عدد باريوني).

14 ـ بارسيك (Parsec): واحدة مسافة فلكية تعرف بأنها بعد جرم زاوية اختلاف النظر إليه (أي انتقاله الظاهري السنوي في السماء نتيجة لدوران الأرض حول الشمس) هو ثانية قوسية واحدة. رمزه المختصر: pc. كل بارسيك يساوي ٣,٠٨٥٦ × ١٠^١٣ كيلومتر، أو ٣,٢٦١٥ سنة ضوئية. يفضل استخدامه عامة على السنة الضوئية في الأدبيات الفلكية. الواحدة الاصطلاحية في الكوسمولوجية هي المليون بارسيك أو الميغا بارسيك (باختصار Mpc). يعطى ثابت هبل عادة بالكيلومتر في الثانية لكل ميغا بارسيك.

15 ـ بوزيترون Positron: هو الجسيم المضاد للإلكترون، شحنته موجبة، يشار إليه بالرمز e+، كما يشار للإلكترون بالرمز e-.

16 ـ بروتون Proton: جسيم مشحون إيجاباً يدخل في تركيب نواة الذرة. يرمز إليه بالرمز p. (تتألف نواة الهيدروجين من بروتون واحد).

17 ـ توزيع بلانك (Distribution de Planck): هو توزع الطاقة على مختلف أطوال موجات إشعاع في حالة توازن حراري، أي إشعاع جسم أسود.

18 ـ توازن حراري (Equilibre thermique): حالة فيزيائية يكون فيها عدد الجسيمات الداخلة في مجال معين للسرعات، للسبينات إلخ، في واحدة الزمن مساوياً لعدد الجسيمات التي تخرج منه. كل منظومة لا تعاني اضطراباً خلال مدة طويلة إلى حد ما تنتهي إلى الاقتراب من حالة التوازن الحراري.

19 ـ تواتر (Fréquence): تواتر موجة ما،هو عدد أعرافها (ذراها) التي تمر من نقطة معينة في واحدة الزمن. وهو يساوي ناتج قسمة سرعة الموجة على طولها. يقاس التواتر عادة بالسيكلات في الثانية أو بالهيرتز.

20 ـ تجانس (Homogénéité): خاصة يفترض أنها موجودة في الكون.

وهي تعني أن الكون يبدو لكل راصد نموذجي، أينما وجد، متماثلاً متشابهاً.

21 ـ تحت الحمراء (أشعة)Infrarouge: أمواج كهرطيسية يتراوح طول موجتها بين ٠,٠٠٠١ سم و ٠,٠١ سم تقريباً (أي: بين عشرة آلاف آنغستروم ومليون) تأتي الأشعة تحت الحمراء وسطاً بين الضوء المرئي والأشعة المليمترية. تصدر الأجسام كلها في درجة حرارة المحيط أشعة تحت الحمراء.

22 ـ تأثيرات متبادلة ضعيفة: هي أحد الأصناف الأربعة الكبيرة للتأثيرات المتبادلة بين الجسيمات الأولية. في الطاقات المألوفة، تكون هذه التأثيرات أضعف كثيراً من التأثيرات المتبادلة القوية والكهرطيسية، هذا، على الرغم من أنها أشد كثيراً من التأثير المتبادل الثقالي. والتأثير المتبادل الضعيف مسؤول عن البطء النسبي في تفكك جسيمات كالنوترون والمويون، وكذلك عن كل التفاعلات التي تساهم فيها النوترينوات. يظن حالياً، بوجه عام، أن التأثير المتبادل الضعيف والكهرطيسي وربما القوي أيضاً هي مظاهر لنظرية معايرة وحيدة وبسيطة.

23 ـ تأثيرات متبادلة قوية (Interactions fortes): هي أقوى أصناف التأثيرات المتبادلة الأربعة الأساسية بين الجسيمات الأولية. وهي مسؤولة عن القوى النووية التي تمسك بالنوترونات والبروتونات مترابطة في النوى الذرية. والتأثيرات المتبادلة القوية لا تعرض إلا للهادرونات، ولكن لا عمل لها في الليبتونات والفوتونات.

28 ـ اتحاد (Recombinaison) (أو تركيب): تعني جمع النوى الذرية مع الإلكترونات لتشكيل ذرات عادية. وفي الكوسمولوجية هي عملية تكوين ذرات الهيليوم والهيدروجين في درجة تقرب من ٣٠٠٠ درجة كلفن.

25 ـ تماثل المناحي (Isotropie): خاصة يفترض أنها موجودة في الكون. وتعني أن الكون يبدو لكل راصد نموذجي متماثلاً في سائر اتجاهات الرصد.

26 ـ تألق مطلق (Luminosité absolue): هو الطاقة الكلية التي يـطلقها جرم فلكي في واحدة الزمن.

27 ـ تـألق ظاهـري (Lumimosité apparente) هو الـطاقـة الكليـة التي يستقبلها راصد من جرم فلكي في واحدة الزمن.

28 ـ تحول (**أو انتقال**) **الطور (Transition de phase)**: هو تحول عنيف في منـظومة فيـزيائيـة من مظهـر إلى آخر، ويكـون عـادة مصحـوبـاً بتغيـر في التنـاظـر. من أمثلة التحـول في الـطور: الانـدمـاج (ذوبـان شيء في شيء)، الغليان، الانتقال من ناقلية عادية إلى ناقلية فائقة.

29 ـ تريتيوم (Tritium): هو النظيـر غير المستقـر للهيدروجين، صيغتـه H^3 . تتألف نواة التريتيوم من بروتون واحد ونوترونين.

30 ـ ثـابت بولتـزمان (Constante de Boltzmann): ثـابت أسـاسي في الميكانيك الإحصائي يربط سلم درجـات الحرارة بـوحدات الـطاقة. يـرمز لـه عـادة بالـرمز K أو K_B. قيمتـه تساوي ١,٣٨٠٦ × $١٠^{-١٦}$ إرغـه لكـل درجـة كلفن، أو ٠,٠٠٠٠٨٦١٧ إلكترون ـ فولت لكل درجة كلفن.

31 -الثابت الكوسمولوجي (Constante cosmologique): حـد أضافـه أينشتين عـام ١٩١٧ إلى معادلات حقـل الثقالـة. يؤدي هذا الحـد إلى تدافـع الأجرام البعيدة جداً. وقد وجد أينشتين أنه ضروري في حالة كون سكوني كي يكافىء الجاذبية الثقالية، ولكن لا داعي اليوم لإضافته.

32 ـ ثابت نيوتن: ثابت أساسي في نظرية نيوتن وأينشتين في الثقالة. يرمز له عادة بالحرف G. قوة الثقالة بين جسمين في نظريـة نيوتن، تسـاوي G مرة من جداء كتلتيهما مقسوماً على مربع المسافة بينهما. قيمة G بـالجملة السغثية هي ٦,٦٧ × $١٠^{-٨}$ سم ٣/غ. ثا^{٢} .

33 ـ ثابت بلانـك: ثابت أسـاسي في الميكانيـك الكوانتي. يشـار إليه عادة بالحرف h. قيمته تساوي ٦,٦٢٥ × $١٠^{-٢٧}$ إرغه. ثـانية. ظهـر لأول مرة عام ١٩٠٠ في نظرية بلانك عن إشعاع الجسم الأسود، ثم أدخل عـام ١٩٠٥

في نظرية أينشتين عن الفوتونات: طاقة الفوتون تساوي جداء ثابت بـلانك في سرعة الضـوء مقسومـة على طول المـوجة ـ وقـد جرت العـادة حاليـاً استخدام ثابت آخر يساوي ثابت بلانك h مقسوماً على 2π (π هي نسبة محيط الدائـرة إلى قطرها).

34 ـ ثـابت البنيـة الـدقيقـة (Constante de structure fine): ثـابت أساسي في الفيزيـاء الذريـة وفي علم التحريـك الكهربـائي الكوانتي. يعـرف على أنـه ناتـج قسمة شحنـة الإلكترون على جـداء ثـابت بـلانـك في سـرعـة الضوء. وهذا الثـابت هو مجـرد عدد لا أبعـاد له. يـرمز لـه عادة بـالحرف α، وقيمته $\frac{١}{١٣٧,٠٣٦}$.

35 ـ جسم أسـود (إشعـاع الـ. . .) (Corps noir): هـو إشعـاع كثـافـة طاقته في كل مجال لطول الموجة، هي نفسها كثـافة الـطاقة في إشعـاع يصدر من جسم ساخن يمتص الحرارة كلها. والإشعاع في حالة التوازن الحراري هو إشعاع جسم أسود .

36 ـ جسيمـات نوويـة (Particules nucléaires): هي جسيمـات تؤلف النوى الذرية، كالبروتون والنوترون. تدعى عادة نوكليونات.

37 ـ جسيم مضـاد (لجسيم) (Antiparticule): هـو جسيم لـه كتلة ذاك الجسيم وسبينـه، ولكن شحنته الكهـربائيـة وعدده البـاريوني وعـدده الليبتـوني إلخ، تكون معاكسة لذاك الآخر. كل جسيم له جسيم مضـاد مختلف عنه، مـا عدا بعض الجسيمات الحيادية كلياً كالفوتون والميـزون بي ـ صفرπ°، فهـذان الجسيمان مضاداهـا هما نفسهما. يدعى مضـاد النوتـرينو النـوترينـو المضاد، ومضـاد البروتـون البـروتـون المضـاد، وهكـذا. أمـا الإلكتـرون فمضـاده هـو البوزيترون (ويسمى أيضاً البوزيتون).

38 ـ حركة خاصة (ذاتية) (Mouvement propre): انتقال وضع الأجرام الفلكية في السماء بسبب حـركتها العمـودية على اتجـاه الرصـد. تقاس عـادة بالثانية القوسية في سنة.

39 ـ حرية مقاربة (Liberté asymtotique): خاصة موجودة في بعض نظريات حقول التأثيرات المتبادلة القوية التي تضعف فيها شدة هذه التأثيرات عندما تتناقص المسافة.

40 ـ ديموقراطية نووية: (Démocratie nucléaire): مذهب يقول إن جميع الهادرونات هي أساسية على حد سواء.

41 ـ دوتريوم (Deutérium): نظير ثقيل للهيدروجين، صيغته H^2، تدعى نوى الدوتريوم دويترون، وهي تتألف من بروتون واحد ونوترون واحد.

42 ـ درجة حرارة حرجة Temperature critique: هي درجة حرارة يحدث عندها تحول في الطور.

43 ـ درجة حرارة أعظمية: هي حد أعلى لسلم درجات الحرارة. وقد كان وجود هذا الحد الأعظمي نتيجة لبعض نظريات التأثيرات المتبادلة القوية. وقد قدرت في هذه النظريات أنها تساوي ٢٠٠٠ مليار درجة كلفن.

44 ـ درجة حرارة العتبة (لجسيم) (Temperature de seuil): هي درجة حرارة يتولد عند تجاوزها عدد هائل من هذا الجسيم في إشعاع الجسم الأسود. وهي تساوي كتلة الجسيم مضروبة بمربع سرعة الضوء ومقسومة على ثابت بولتزمان.

45 ـ سنة ضوئية: هي المسافة التي يجتازها الضوء في سنة (في الفراغ). وتساوي ٩,٤٦٠٥ ألف مليار كيلو متر (٩,٤٦٠٥ × ١٠ ^{١٢} كم).

46 ـ سيفيئيد (Céphéides): نجوم متغيرة لامعة يرتبط تألقها ولونها ودور تغيرها بعلاقة معينة. سميت بهذا الاسم نسبة للنجم Z في كوكبة سيفي. وهي تستخدم كدليل وهاد في قياس سرعة المجرات القريبة.

(تسمى هذه النجوم متغيرات قيفاوية).

47 ـ سيانوجين (Cyanogéne): مركب كيماوي صيغته CN، ويتألف من

الفحم والآزوت. اكتشف وجوده في الفضاء بين النجمي من مشاهدة امتصاص الضوء المرئي.

48 ـ سدم (Nébuleuses): أجرام فلكية متسعة، يذكر مظهرها بالغيوم. بعض السدم هي مجرات، وبعضها الآخر هو غيوم حقيقية مكونة من الغبار والغازات العائدة لمجرتنا.

49 ـ سبين (Spin): خاصة أساسية للجسيمات الأولية تصف حالة دروانها[1]. واستناداً إلى الميكانيك الكوانتي لا يمكن للسبين أن يأخذ إلا قيماً مساوية لعدد صحيح (١، ٢، . . .) أو نصف صحيح ($\frac{١}{٢}$، ١ $\frac{١}{٢}$، . . .) من ثابت بلانك h.

50 ـ سرعة الضوء: ثابت أساسي في النسبية الخاصة، ويساوي ٢٩٩٧٢٩ كيلو متر في الثانية. يشار إليه بالحرف c. كل الجسيمات التي لا كتلة لها كالفوتون والغرافيتون و(النوترينو؟) تسير بسرعة الضوء، أما باقي الجسيمات المادية فتقترب من سرعة الضوء عندما تكون طاقتها أعلى كثيراً من طاقة سكونها mc^2.

51 ـ شبه نجمي (جرم. . .): **(Quasi - Stellaire)**: صنف من الأجرام الفلكية لها مظهر نجمي ولكن أبعادها الزاوية صغيرة جداً، ومع ذلك فهي تظهر انحرافاً هاماً نحو الأحمر. تدعى أحياناً كازار Quasars، أو تدعى منابع شبه نجمية عندما تبث إشعاعاً راديوياً قوياً. لا تزال طبيعتها مجهولة (فلربما كانت مجرات نائية جداً).

52ـ طاقة سكون (Energie de repos): هي طاقة جسيم ساكن، ويمكن أن تتحرر إذا أمكن لهذا الجسيم أن يفنى (بالاندماج مع مضاده). تعطى من دستور أينشتين $E= mc^2$.

---

(١) والأدق من ذلك: السبين هو عزم اندفاع ذاتي للجسيم ناتج عن بنيته الداخلية غير المعروفة (المترجم).

53 ـ طول موجة: هو المسافة بين عرفين (ذروتين) متتاليين للموجة. يمكن أن نعرف طول موجة إشعاع كهرطيسي على أنه المسافة بين نقطتين متتاليتين تأخذ بينهما مركبات الحقل الكهربائي أو المغنطيسي كل قيمها العظمى. يشار إلى طول الموجة بالحرف λ.

54 ـ طريق (أو درب) اللبانة: اسم قديم أطلق على حزمة النجوم التي تشير في السماء إلى مستوي مجرتنا، ويطلق هذا الاسم أحياناً على مجرتنا نفسها.

55 ـ عدد باريوني (Nombre baryonique): هو العدد الكلي للباريونات الموجودة في جملة (منظومة) فيزيائية، مطروحاً منه عدد الباريونات المضادة في هذه الجملة. وهذا العدد يخضع لقانون انخفاظ (مصونية)، أي يظل ثابتاً في كل تفاعل.

56 ـ عدد لبتوني (Nombre leptonique): هو العدد الكلي للبتونات الموجودة في جملة فيزيائية مطروحاً منه عدد اللبتونات المضادة وهذا العدد يخضع لقانون انخفاظ (مصونية).

57 ـ عذراء (كومة الـ. . . .) (Amas de la vierge): كومة عملاقة تحتوي على أكثر من ١٠٠٠ مجرة، وترى عند كوكبة العذراء. تبتعد عنا بسرعة تقرب من ١٠٠٠ كيلومتر في الثانية، ويعتقد أنها تقع على بعد ٦٠ مليون سنة ضوئية.

58 ـ فوتون (Photon): جسيم يرفق بالأمواج الضوئية في النظرية الكوانتية للإشعاع. يشار إليه بالحرف اليوناني γ (غما).

59 ـ فوق النوفا (Supernovac): انفجار نجمي هائل تتبعثر فيه مادة النجم كلها ما عدا نواتها المركزية، وتنتشر في سائر انحناء الفضاء. يولّد فوق النوفا في بضعة أيام طاقة تساوي ما تشعه الشمس في مليار سنة. آخر فوق نوفا شوهد في مجرتنا كان قد سجله كبلر (وبعض الفلكيين الكوريين والبلاط الأمبراطوري في الصين)، وكان ذلك عام ١٦٠٤ في كوكبة أو فيوشوس.

ولكن يبدو أن منبع الأشعة الراديوية الذي يشار إليه بالـرمز CasA هـو بقية من فوق نوفا أحدث.

60 ـ فوق البنفسجية (الأشعـة) (Ultraviolet): إشعاع كهـرطيسي طـول موجته محصور بين ١٠ و ٢٠٠٠ آنغستروم (١٠$^{-٧}$ سم و ٢ × ١٠$^{-٥}$ سم) تأتي هذه الأشعة وسطاً بين الضوء المرئي والأشعة السينية.

61 ـ قانون انحفاظ أو مصونية (Conservation): قانـون ينص على أن القيمة الكلية لمقدار فيزيائي معين (مثل: طاقة، عدد باريوني إلخ)تبقى ثـابتة خلال كل تفاعل.

62 ـ قانون هبل (Loi de Hubble): هو علاقة التناسب بين سرعـة تقهقر (هروب) المجرات البعيدة وبين بعدها عنا (أو عن أي مجـرة نموذجيـة أخرى) وثابت هبل هو نسبة السرعة إلى البعد، ويشار إليه بالحرف Hأو Ho.

63 ـ قـانون رايلي ـ جينـز: هو العـلاقة البسيـطة بين كثافـة الطاقـة (في واحـدة مجال لـطول الموجـة) وبين طولِ المـوجة. وهـذا القانـون يصلح عند أقصى أطوال الموجات الكبيرة في توزع بلانـك. وبهذا التقـريب تكون كثـافة الطاقة متناسبة عكساً مع القوة الرابعة لطول الموجة.

64 ـ قانون ستيفان ـ بولتزمان: هو علاقة التناسب بين كثافة الطاقة وبين القوة الرابعة لدرجة الحرارة.

65 ـ كثافة: هي كمية مقدار فيـزيائي في واحـدة الحجوم. فمثـلاً كثافـة الكتلة هي الكتلة في واحدة الحجوم، وتدعى عادة باختصار «الكثافة». وكثافة الطاقة هي الطاقة في واحدة الحجوم. وكثافة الجسيمات هي عدد الجسيمـات في واحدة الحجوم، وهكذا...

66 ـ الكثافة الحرجة: هي أصغر كثافة كونية يجب أن تتوافر حاليـاً لكي يقفـ التوسع عند حد معين، يتبعه بعدئذ انكماش. ويكـون الكون منتهيـاً في المكان إذا كانت الكثافة الكونية أعلى من الكثافة الحرجة.

67 ـ كلفن : سلم لدرجـة الحرارة واحـدتـه هي السلم المئـوي، ولكن الصفر فيه ليس نقطة ذوبان الجليد، وإنما هو الصفر المطلق لدرجـة الحرارة.

وفي الضغط الجوي العادي تقع نقطة ذوبان الجليد عند ٢٧٣,١٥ درجة كلفن.

68 ـ كتلة جينز: هي أصغر كتلة لازمة لكي يتمكن الجذب الثقالي من التغلب على قوة الضغط الداخلي، ويجعل من المنظومة (الجملة) منظومة مترابطة ثقالياً. يشار إلى كتلة جينز بالحرف Mj.

69 ـ كواركات Quarks: هي جسيمات افتراضية أساسية، عدت مكونة لسائر الهادرونات. لم يلاحظ قط، وحتى الآن، كوارك معزول، ولدينا أسباب نظرية تجعلنا نشك في إمكان ملاحظتها معزولة في المستقبل، هذا على الرغم من أن لها وجوداً حقيقياً بشكل أو بآخر.

70 ـ لبتونات (Leptons): صنف من الجسيمات لا يساهم في التأثيرات المتبادلة القوية. ويشمل هذا الصنف الإلكترون والمويون والنوترينو (انظر عدد لبتوني).

71 ـ مخططات فاينمان (Diagrammes de Feynman): مخططات ترمز أو تمثل مختلف المشاركات في معدل تفاعل بين جسيمات أولية.

72 ـ المدة المميزة للتوسع (Durée caractéristique d'expansion): هي مقلوب ثابت هبل. وهي تساوي إجمالاً ١٠٠ ضعف من الزمن اللازم لكي يزيد قدر الكون ١٪ (وليست الزمن اللازم لكي يزيد قدر الكون بنسبة ١٠٠٪).

73 ـ مفعول دوبلر (Effet Doppler): هو التعديل الذي يطرأ على تواتر إشارة ما (ضوئية أو صوتية) بسبب الحركة النسبية بين المرسل وبين الراصد.

74 ـ مجرة Galaxie: هي كومة هامة من النجوم المرتبطة ثقالياً (أي تظل متجمعة في أثناء حركتها). ويمكن أن تحوي المجرة 10^{12} كتلة شمسية. تسمى مجرتنا أحياناً «المجرة» أو درب اللبانة. تصنف المجرات تبعاً لأشكالها، فهي ناقصية أو حلزونية أو حلزونية مشطوبة أو غير منتظمة.

75 ـ مجرة نموذجية (Galaxie typique): عنينا بذلك في هذا الكتاب

المجرات التي ليس لها حركة خاصة، والتي تشارك فحسب بالتيار العام للمادة المرتبط بتوسع الكون. وعبارتا **جسيم نموذجي أو راصد نموذجي**، تعنيان هنا أيضاً معنى مماثلاً.

76 ـ متوسط المسير الحر: (Libre parcours moyen): هو متوسط المسافة التي يجتازها جسيم بين اصطدامين متتاليين في الوسط الذي ينتقل فيه. ومدة **المسير الحر** هي متوسط الزمن الذي يجري بين اصطدامين.

77 ـ ميكانيك كوانتي: نظرية فيزيائية أساسية طورت في العشرينات من هذا القرن لتحل محل الميكانيك الكلاسيكي. الأمواج والجسيمات في الميكانيك الكوانتي هما مظهران (متكاملان) لكيان عميق خفي. ويسمى الجسيم المرفق بموجة ما، الكوانتم الخاص بها. أضف إلى ذلك أن حالات المنظومات المرتبطة، كالذرات أو الجزيئات، لا يمكن أن تشغل إلا سويات طاقة معينة. ويقال في ذلك أن الطاقة مكمة.

78 ـ ميزونات (Mésons): صنف من الجسيمات يشارك في التأثيرات المتبادلة القوية. وهو يشمل الميزونات بي، الميزونات K، الميزونات رو، إلخ. العدد الباريوني لهذه الجسيمات هو صفر.

79 ـ ميزونات بي: هي أخف الهادرونات، ويوجد منها ثلاثة أنواع: ميزون π^+ مشحون إيجاباً، ومضاده ميزون π^- مشحون سلباً، π^0 حيادي كهربائياً، وأخف قليلاً من سابقيه. تدعى هذه الجسيمات أحياناً البيونات (نسبة إلى الحرف اليوناني بي).

80 ـ ميزون رو: هو أحد الهادرونات العديدة غير المستقرة إلى حد بعيد، ويتفكك إلى ميزونين بي. متوسط مدة حياته ٤,٤ × ١٠^{-٢٤} ثانية.

81 ـ ميسييه (أرقام...) Messier: هي الأرقام التي أعطاها ميسييه في كتالوغه لمختلف السدم وأكوام النجوم التي عرفها. ويسبق الرقم دائماً الحرف M. فمثلاً سديم آندروميد رقمه M31.

82 ـ مليمتري (إشعاع...): إشعاع كهرطيسي طول موجته محصور بين

٠,٠١ سم و ١٠ سم ويقع وسطاً بين الإشعاعات العالية التواتر وبين الإشعاعات تحت الحمراء.

83 ـ المبدأ الكوسمولوجي (principe cosmologique): فرضية تقول إن الكون متجانس ومتماثل المناحي.

84 ـ مبدأ باولي في الاستبعاد (Principe d'exclusion de Pauli): هو مبدأ يمنع جسيمين من نمط واحد أن يحتلا حالة كوانتية واحدة بالضبط. الباريونات واللبتونات تخضع لهذا المبدأ، ولكن الفوتونات والميزونات فلا.

85 ـ مويون (Muon): جسيم أولي غير مستقر مشحون سلباً. وهو يشبه الإلكترون، ولكن كتلته تساوي ٢٠٧ مرات من كتلة الإلكترون. يشار إليه بالحرف اليوناني μ (مو)، ويدعى أحياناً ميزون مو، ولكنه خلافاً للميزونات لا يشارك في التأثيرات المتبادلة القوية.

86 ـ نوترينو (Neutrino): جسيم حيادي لا كتلة له (يظن حالياً أن له كتلة). لا يشارك إلا في التأثيرات المتبادلة الضعيفة والثقالية؟. يشار إليه بالحرف اليوناني ν (نو). يوجد منه نوعان على الأقل: نوترينو إلكتروني νe. ونوترينو مويوني ($\nu\mu$).

87 ـ نوترون (Neutron): جسيم نووي (نوكليون) لا شحنة له. يشترك مع البروتون في تكوين النوى. يشار إليه عادة بالحرف n.

88 ـ النسبية العامة: نظرية للثقالة طورها بين عامي ١٩٠٦ و ١٩١٦ ألبرت أينشتين. إن الفكرة الأساسية في النسبية العامة كما صاغها أينشتين هي أن الثقالة ليست سوى نتيجة لانحناء المتصل المكاني ـ الزماني.

89 ـ النسبية الخاصة: تصور جديد للمكان والزمان قدمه أينشتين عام ١٩٠٥. وفي النظرية الخاصة كما في الميكانيك النيوتوني، توجد مجموعة من التحويلات الرياضية التي تربط بين جمل الإحداثيات المكانية الزمانية التي يستخدمها مختلف الراصدين. وهذه التحويلات تجعل قوانين الطبيعة تبدو نفسها لجميع الراصدين، ولكن هذه القوانين في النسبية الخاصة تمتاز عن

النيوتونية بأنها تترك سرعة الضـوء ثابتـة بالنسبـة إلى أي راصد. وكـل منظومـة تحوي جسيمات تقرب سرعتها من سرعة الضوء تسمى منظومة نسبـوية ويجب معـالجتهـا وفقـاً لقـوانين النسبيـة الخـاصـة لا وفقـاً للميكـانيـك الكـلاسيكي النيـوتوني. ولكن هـذا الميكانيـك الأخير يـظل صالحـاً طالمـا أن السـرعـات صغيرة.

90 ـ نـظريـات المعـايـره (Théories de jauge): صنف من نـظريـات الحقل هي الآن موضع دراسات معمقـة جداً، لأنهـا يمكن أن تكون نـظريات للتأثيرات المتبادلة الضعيفة والكهرطيسية والقوية. هذه النظريات تـظل صامـدة في بعض تحويلات تناظر تتغير آثاره من نقطة إلى أخرى في المكان ـ الزمان.

91 ـ نظرية الحالة الاستقرارية (Theorie de l'état stationnaire): هي نظرية كوسمولوجية طـورها بـوندي وغـولد وهـويل. في هـذه النظريـة لا تتغير الخواص الوسطى (متوسط الكثافة متوسط القدر. . .) للكـون أبداً مـع الزمن. بل هناك خلق مستمر للمادة يكافىء فناءها في مكان آخر بحيث تحتفظ الكثافة الوسطى الكونية بقيمتها خلال توسع الكون.

92 ـ نمـوذج فريدمان (Modèle de Friedmann): نمـوذج رياضي للبنيـة المكـانيـة ـ الـزمـانيـة للكـون، أسس على النسبيـة العـامـة (ولكن دون ثـابت كوسمولوجي)، وعلى المبدأ الكوسمولوجي.

93 ـ هادرون (Hadron): هو كل جسيم يشارك في التـأثيرات المتبـادلة القوية. تقسم الهادرونات إلى باريونات (كالبـروتون والنـوترون) وهـذه تخضع لمبدأ باولي في الاستبعاد، وإلى ميزونات لا تخضع لهذا المبدأ.

94 ـ هيليـوم: هو أخف العنـاصر وأكثـرها وفـرة بعـد الهيـدروجين. لـه نظيران مستقران: نواة الـ He^4 تتـألف من بروتـونين ونوتـرونين، ونواة الـ He^3 وتتألف من بروتونين ونوتـرون واحد. كـل ذرة هيليوم تحـوي إلكترونين حـول نواتها.

95 ـ هيدروجين: أخف العناصر الكيماوية وأكثرها وفرة. تتألف نواة الهيدروجين العادي من بروتون وحيد. له نظيران: الدوتريوم والتريتيوم. كل ذرة هيدروجين تحوي بروتون واحد (نواة هيدروجين) وإلكترون واحد. إيونات الهيدروجين الموجبة هي ذرات هيدروجين مجردة من إلكتروناتها.

96 ـ هيدروكسيل (إيون...)(Hydroxyle): هو إيون صيغته OH يتكون من ذرة أوكسجين وذرة هيدروجين وإلكترون إضافي.

97 ـ وسيط التمهل أو التباطؤ (Parametre de décélération): هو معدل تباطؤ هروب المجرات البعيدة.

تذييل رياضي

تضم هذه الصفحات شرحاً رياضياً لبعض ما اعتمد عليه الكتاب من قوانين. وهي موجهة لمن يرغب في ذلك من القراء. ولكن فهم النص ومتابعة النقاش الدائر فيه، لا يحتاج إلى دراسة هذا الشرح.

ملحق ١ ـ مفعول دوبلر

لنفرض أن أعراف الموجة (أي ذراها)تغادر المنبع المضيء على فترات منتظمة تفصل بينها مدة دور T. فإذا كان المنبع يبتعد عن المراقب بسرعة V، فإنه يقطع خلال المدة الفاصلة بين إصدار عرفين متتاليين مسافة قدرها VT، فالزمن اللازم للعرف الثاني كي يصل إلى المراقب سيزداد بمقدار $\frac{VT}{c}$ حيث c سرعة الضوء. وعلى هذا، فإن الزمن الذي ينقضي بين استقبال عرفين متتاليين هو:

$$T' = T + \frac{VT}{c}$$

ولدينا طول الموجة عند الإصدار (أي بالنسبة للمنبع) هو

$$\lambda = cT$$

وطول الموجة بالنسبة للمراقب سيصبح:

$$\lambda' = cT'$$

فالنسبة بين طولي الموجتين هي إذن:

$$\lambda'/\lambda = T'/T = 1 + \frac{V}{c}$$

وتنطبق هذه الطريقة في حالة اقتراب المنبع من الراصد، ولكن بعد استبدال V – بـ V (كما تنطبق أيضاً على كل إشارة تموجية وليس على الأمواج الضوئية فحسب).

وعلى سبيل المثال، تبتعد كومة العذراء عنا بسرعة تقرب من ١٠٠٠ كيلو متر في الثانية. فإذا اتخذنا سرعة الضوء بين النجوم ٣٠٠٠٠٠ كم/ثا، فإن طول موجة كل خط في طيف هذه الكومة هو أكبر من طولها العادي بنسبة

$$\lambda'/\lambda = 1 + \frac{1\,000 \text{ km/sec}}{300\,000 \text{ km/sec}} = 1{,}0033$$

ملحق ٢ ـ الكثافة الحرجة

لنأخذ كرة نصف قطرها R (تقتضي ضرورة البرهان أن نأخذ R أكبر من متوسط المسافات الفاصلة بين المجرات وأصغر من الأبعاد المميزة للكون). إن كتلة هذه الكرة تساوي جداء حجمها في كثافة الكتلة الكونية

$$M = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$$

وبحسب نظرية نيوتن في الجاذبية، تكون طاقة وضع كل كرة نموذجية عند سطح هذه الكرة معطاة بالدستور التالي:

$$U = -\frac{mMG}{R} = -\frac{4\pi m R^2 \rho G}{3}$$

حيث m هي كتلة المجرة، و G هو ثابت الجاذبية النيوتونية

$$G = 6{,}67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gm sec}^2$$

(مقدرة بـ سم ٣/غ. ثا٢). وسرعة هذه المجرة بحسب قانون هبل

$$V = HR$$

(حيث H هو ثابت هبل). فالطاقة الحركية لهذه المجرة:

$$T = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} mH^2R^2$$

وطاقتها الكلية (أي مجموع الطاقة الحركية مع طاقة الوضع) هي

$$E = U + T = mR^2\left[\frac{1}{2}H^2 - \frac{4}{3}\pi\rho G\right]$$

وهذه الكمية يجب أن تظل ثابتة خلال توسع الكون.

فإذا كانت E سالبة، عندئذ لا يمكن للمجرة أن تهرب إلى اللانهاية، لأن طاقة الوضع تصبح في حالة المسافات البعيدة جداً كمية مهملة. فلو هربت إلى هذه المسافات لأصبحت الطاقة الكلية المساوية في هذه الحالة للطاقة الحركية وحدها موجبة لا سالبة، وهذا مستحيل، فلا بد للمجرة من أن تعود أدراجها. أما إذا كانت E موجبة فإن المجرة بإمكانها أن تهرب إلى اللانهاية محتفظة دائماً بطاقة حركية موجبة. وعلى هذا تكون سرعة المجرة هي بالتحديد سرعة الإفلات (أو الانعتاق) عندما تنعدم E. إذاً للحصول على الكثافة الحرجة يكفي أن نجعل قيمة الطاقة الكلية صفراً.

$$\frac{1}{2}H^2 = \frac{4}{3}\pi\rho G$$

أو بعبارة أخرى، يجب أن تكون كثافة الكون الحرجة:

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

وعلى الرغم من أن هذه النتيجة حسبت بمبادىء الميكانيك النيوتوني، إلا أنها تظل صالحة عندما يكون محتوى الكون خاضعاً إلى حد بعيد للنظرية النسبية، ولكن بشرط أن تدل ρ على كثافة الطاقة الكلية بما فيها طاقة السكون للمادة مقسومة على c^2.

فإذا اتخذنا للثابت H القيمة المقبولة عادة وهي ١٥ كيلومتراً في الثانية لكل مليون سنة ضوئية، نحصل على قيمة الكثافة الحرجة (مع مراعاة أن السنة الضوئية تساوي ٩,٤٦ × ١٠^١٢ كيلومتر).

$$\rho_c = \frac{3}{8\pi(6{,}67 \times 10^{-8}\text{cm}^3/\text{gm sec}^2)}\left(\frac{15\ \text{km/sec}/10^6\ \text{a-l}}{9{,}46 \times 10^{12}\text{km/a-l}}\right)^2$$
$$= 4{,}5 \times 10^{-30}\ \text{gm/cm}^3$$

ولما كانت كتلة الغرام الواحد تساوي كتلة ٦,٠٢ × ١٠^٢٣ جسيم نووي، فالكثافة الحرجة حالياً هي ٢,٧ × ١٠^-٦ جسيم نووي في كل سم ٣ أي ٠,٠٠٢٧ جسيم في اللتر.

ملحق ٣ ـ السلم الزمني لتوسع الكون.

نريد أن ندرس الآن كيف تتغير وسيطات الكون مع الزمن. لنفرض أن مجرة نموذجية كتلتها m تقع في اللحظة t **على** بعد R(t) من مجرة ما نتخذها مركزاً، ولتكن مجرتنا مثلاً، وقد رأينا في الملحق السابق أن الطاقة الكلية (الوضع مع ' حركية) للمجرة هي:

$$E = mR^2(t)\left[\frac{1}{2}H^2(t) - \frac{4}{3}\pi\rho(t)G\right]$$

حيث H(t) هو ثابت هبل (هذا الثابت هو ثابت مع الوضع وليس مع الزمن)، و **ρ**(t) كثافة المادة الكونية في اللحظة t. ولكن E هي الثابت الحقيقي. إلا أننا سنرى فيما بعد أن **ρ** (t) تتزايد عندما $R(t) \to 0$، وعلى نحو يجعل الجداء $\rho(t) \times R^2(t)$ يتزايد على الأقل بسرعة تزايد $1/R(t)$ عندما يسعى R(t) نحو الصفر، لأن الكثافة تتناسب عكساً مع المسافة R^3. فلكي يظل E ثابتاً يجب أن يصبح ما بين القوسين المتوسطتين شبه معدوم بحيث يكون لدينا عندما $R(t) \to 0$.

$$\frac{1}{2}H^2(t) \to \frac{4}{3}\pi\rho(t)G$$

ولما كانت المدة المميزة لتوسع الكون هي ببساطة مقلوب ثابت هبل، إذاً

$$t_{exp}(t) = \frac{1}{H(t)} = \sqrt{\frac{3}{8\pi\rho(t)G}}$$

(texp تعني مدة التوسع)، وهي طبعاً تتغير مع الزمن، فهي أول وسيط للكون نحسبه بدلالة الزمن.

فعلى سبيل المثال، كانت كثافة الكون عند بدء السوية الأولى (كما رأينا في الفصل الخامس)، هي ٣,٨ مليار غرام في السنتيمتر المكعب، فمدة التوسع كانت إذاً في ذلك الحين:

$$t_{exp} = \sqrt{\frac{3}{8\pi(3{,}8 \times 10^9\,gm/cm^3)(6{,}67 \times 10^{-8}\,cm^3/gm\,sec^2)}} = 0{,}022\ \text{seconde}$$

لننظر الآن كيف تتغير الكثافة **ρ**(t) مع R(t). إذا كانت كثافة الكتلة تتحكم فيها كتلة الجسيمات النووية (عصر سيادة المادة)، فإن الكتلة المحتواة

في كرة تتوسع مع الزمن ونصف قطرها R(t) متناسبة مع عدد الجسيمات النووية الموجودة داخل الكرة، وتبقى بالتالي ثابتة (وكذلك عدد الجسيمات النووية).

$$\frac{4\pi}{3}\rho(t)\,R(t)^3 = \text{Constante} \quad \text{ثابت}$$

فالكثافة $\rho(t)$. متناسبة عكساً مع $R^3(t)$.

$$\rho(t) \propto 1/R(t)^3$$

(الرمز $\propto$ يعني متناسبة مع). (وقد وردت $R^3(t)$ أحياناً على الشكل $R(t)^3$ ولا فرق بينهما).

وعلى العكس إذا كانت كثافة الكتلة يتحكم فيها المكافىء من كتلة طاقة الإشعاع (عصر سيادة الإشعاع) فعندئذ تكون $\rho(t)$ متناسبة مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة. ولكن درجة الحرارة متناسبة عكساً مع $R(t)$، فالكثافة $\rho(t)$ عندئذ متناسبة عكساً مع $R^4(t)$.

$$\rho(t) \propto 1/R(t)^4$$

ولكي نتمكن من معالجة الحالتين (سيادة المادة وسيادة الإشعاع) في آن واحد نكتب هذه النتيجة على الشكل:

$$\rho(t) \propto [1/R(t)]^n$$

حيث n = ٣ في حالة سيادة المادة
٤ في حالة سيادة الإشعاع

ولنلاحظ أن $\rho(t)$ ينتهي بها الأمر، كما توقعنا، إلى أن تتزايد بسرعة تزايد $1/R^3(t)$ عندما $R(t) \to 0$.

لدينا ثابت هبل متناسب مع $\sqrt{\rho}$، إذاً.

$$H(t) \propto [1/R(t)]^{n/2}$$

فبحسب قانون هبل تكون سرعة مجرة نموذجية:

$$V(t) = H(t)R(t) \propto [R(t)]^{1-n/2}$$

فإذا كان ثابت التناسب في هذه المعادلة هو C، يكون

$$V(t) = dR/dt = CR^{1-\frac{n}{2}}$$

ومنه

$$dt = dR/CR^{1-\frac{n}{2}}$$

وبأخذ التكامل على المجال $[t_2, t_1]$ ثم التعويض عن C بقيمتها من المعادلة السابقة نجد:

$$[t]_{t_2}^{t_1} = \frac{2}{n}\left[R(t)/V(t)\right]_{t_2}^{t_1}$$

أو

$$t_1 - t_2 = \frac{2}{n}\left[\frac{1}{H(t_1)} - \frac{1}{H(t_2)}\right]$$

ونستطيع أن نعبر عن H(t) بدلالة $\rho(t)$ فنجد:

$$t_1 - t_2 = \frac{2}{n}\sqrt{\frac{3}{8\pi G}}\left[\frac{1}{\sqrt{\rho(t_1)}} - \frac{1}{\sqrt{\rho(t_2)}}\right]$$

وهكذا نجد أنه مهما تكن قيمة n فإن الزمن متناسب عكساً مع الجذر التربيعي للكثافة.

وعلى سبيل المثال، خلال كل العصر الذي ساد فيه الإشعاع بعد تفاني الإلكترونات مع البوزيترونات، كانت الكثافة.

$$\rho \simeq 1.22 \times 10^{-35}[T(°K)]^4 \text{ gm/cm}^3$$

وذلك حسب قانون ستيفان ـ بولتزمان (انظر الملحق ٦)، حيث °k تعني T مقدرة بالكالفن، و ρ مقدرة بالغرام في السنتيمتر المكعب. ثم إن n=4 في هذه الحالة، فالزمن اللازم لكي يبرد الكون من ١٠٠ مليون درجة إلى ١٠ مليون درجة هو:

$$t = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{8\pi(6,67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gm sec})}}$$

$$\times \left[\frac{1}{\sqrt{1,22 \times 10^{-35} \times 10^{48} \text{ gm/cm}^3}} - \frac{1}{\sqrt{1,22 \times 10^{-35} \times 10^{62} \text{ gm/cm}^3}}\right]$$

$$= 1,90 \times 10^6 \text{ sec} = 0,06 (\text{année سنة})$$

حيث cm^3 تعني سم ٣ و gm تعني غرام و sec تعني ثانية.

ويمكن أن نعبر عن النتيجة العامة ببساطة أكثر بقولنا إن الزمن اللازم لكي تهبط الكثافة من قيمة ρ_2 عالية جداً (حالة بدء الكون) إلى قيمة

$\rho_1 = \rho$ هي

$$t = \frac{2}{n}\sqrt{\frac{3}{8\pi G\rho}} = \begin{cases} \frac{1}{2}\, t_{exp} & \text{سيادة الإشعاع} \\ \frac{2}{3}\, t_{exp} & \text{سيادة المادة} \end{cases}$$

(حيث texp تعني مدة التوسع). وعند الدرجة ٣٠٠٠°ك مثلاً كانت كثافة كتلة الفوتونات والنوترينوات.

$$\rho = 1{,}22 \times 10^{-35} \times [3.000]^4 \text{ gm/cm}^3 = 9{,}9 \times 10^{-22} \text{ gm/cm}^3$$

(وهذه القيمة أصغر جداً من الكثافة عندما كانت درجة الحرارة ١٠^٨ ك أو ١٠^٧ أو ١٠^٦). فالزمن اللازم لكي يبرد الكون من درجة حرارة مرتفعة جداً إلى درجة ٣٠٠٠°ك يمكن أن تحسب (مع افتراض أن $n=4$ «إشعاع») هي ببساطة:

$$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{8\pi(6{,}67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gm sec}^2)(9{,}9 \times 10^{-22} \text{ gm/cm}^3)}}$$
$$= 2{,}1 \times 10^{13} \text{ sec} = 680.000 \text{ année}$$

كنا قد برهنا أن الزمن اللازم لكي تهبط الكثافة الكونية من قيمة مرتفعة جداً إلى قيمة ρ، متناسب مع $\sqrt{\rho}$ ، بينما الكثافة متناسبة مع $1/R^n$ فالزمن متناسب إذاً مع $R^{n/2}$، أو بمعنى آخر

$$R \propto t^{2/n} = \begin{cases} t^{1/2}, & \text{عصر سيادة الإشعاع} \\ t^{2/3} & \text{عصر سيادة المادة} \end{cases}$$

ويظل هذا التناسب سارياً حتى اللحظة التي تصبح فيها طاقة الحركة وطاقة الوضع كلتاهما صغيرتين، بحيث تبدأان في أن تكونا موازيتين لمجموعهما أي للطاقة الكلية. (تصغر طاقة الحركة لأن ثابت هبل يصغر مع الكثافة).

وكما أشرنا في الفصل الثاني، يوجد في كل لحظة t بعد البدء أفق يقع على مسافة ct، بحيث لا يمكن أن تصل من بعدها إشارة ما. فها نحن نرى الآن أن $R(t)$ تتناقص بسرعة أقل من سرعة تناقص بعد الأفق عندما $T \to 0$، لأن R متناسبة مع جذر t بينما تتناسب مسافة الأفق مع t. فإذا عدنا إلى ماضٍ

بعيد بما يكفي، نصل إلى لحظة يصبح فيها كل جسيم نموذجي واقعاً خارج الأفق.

ملحق٤ ـ إشعاع الجسم الأسود

يعطينا توزيع بلانك طاقة الإشعاع du لجسم أسود في واحدة الحجوم وفي مجال صغير لطول الموجة محصور بين λ و $\lambda + d\lambda$

$$du = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} d\lambda \Big/ [e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1]$$

في هذا الدستور T هي درجة الحرارة، k ثابت بولتزمان ١,٣٨×١٠-١٦ إرغه/ك؛ c سرعة الضوء (٣٠٠٠٠٠ كم/ثا)، e هو الثابت العددي النيبري ٢,٧١٨٢٨؛ h ثابت بلانك قيمته ٦,٦٢٥×١٠-٢٧ ارغه. ثانية، وكان بلانك أول من أدخله في هذا الدستور.

وفي حالة الأمواج الطويلة يمكن أن نستعين بمنشور $e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)}$ لأخذ الجزء الرئيسي فنحصل على قيمة تقريبية للمخرج:

$$e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1 \simeq \left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)$$

ففي هذا المجال من أطوال الموجات يصبح دستور بلانك: $du = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda$

وهذا قانون رايلي ـ جينز الذي يعطي عند تطبيقه في حالة أمواج قصيرة جداً قيمة لانهائية للنسبة $du/d\lambda$: عندما $\lambda \to 0$، وتصبح كثافة الإشعاع الكلية للجسم الأسود بالتالي لا نهائية.

ولكن لحسن الحظ أن du في دستور بلانك يبلغ (من أجل درجة حرارة معينة) نهاية عظمى عندما

$$\lambda = 0{,}2014052\ hc/kT$$

ثم تتناقص بشدة عندما نتجه نحو الأمواج الأقصر من هذه القيمة، والكثافة الكلية لطاقة إشعاع الجسم الأسود تعطى بالتكامل:

$$u = \int_0^\infty \frac{8\pi hc}{\lambda^5} d\lambda \Big/ (e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1)$$

ويمكن أن نحصل على قيمة هذا النوع من التكاملات في الجداول العددية للتكاملات المنتهية، فنجد أن:

$$u = \frac{8\pi^5(kT)^4}{15(hc)^3} = 7{,}56464 \times 10^{-16}\ [T(^\circ K)]^4\ \text{erg/cm}^3$$

وهذا هو قانون ستيفان بولتزمان الذي استعنا به في الملحق ٢ ـ ٣.

ويمكن أن نؤول توزيع بلانك بسهولة بعبارات كوانتا الضوء أو**الفوتونات**. فكل فوتون يحمل طاقة تعطى بالدستور:

$$E = hc/\lambda$$

فعدد فوتونات إشعاع جسم أسود في واحدة الحجوم وفي مجال صغير لطول الموجة محصور بين **λ+dλ,λ** هو إذاً:

$$dN = \frac{du}{hc/\lambda} = \frac{8\pi}{\lambda^4}\,d\lambda \Big/ \left[e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1\right]$$

(حيث dN هو عدد الفوتونات). فالعدد الكلي للفوتونات في واحدة الحجوم:

$$N = \int_0^\infty dN = 60{,}42198\left(\frac{kT}{hc}\right)^3 = 20{,}28[T(^\circ K)]^3\ \text{photons/mc}^3$$

ومتوسط طاقة الفوتون إذاً:

$$E_{moy} = u/N = 3{,}73 \times 10^{-16}[T(^\circ K)]\ \text{ergs}$$

(حيث Emoy تعني متوسط الطاقة):

لندرس الآن تطور حالة جسم أسود في كون يتوسع. لنفرض أن قدر الكون يتغير بمعامل (بالنسبة) f. فمثلاً إذا تضاعف قدر الكون يكون f=2. فبحسب ما رأينا في الفصل الثاني تتغير أطوال الموجات بنسبة تغير قدر الكون فهي تصبح: **λ̀=fλ**.

وبعد التوسع، تصبح كثافة الطاقة 'du في المجال الجديد **λ̀ +dλ,λ̀** الموافق للسابق، أقل من كثافة الطاقة السابقة du في المجال **λ**، **λ+dλ** وذلك لسببين:

١ ـ إن تغير قدر الكون بمعامل f يعني تغير حجمه بمعامل f^3 وطالما لم

تتولد فوتونات جديدة أو تفنى، فإن عدد الفوتونات في واحدة الحجوم ينقص بمعامل $1/f^3$.

٢ ـ طاقة كل فوتون متناسبة عكساً مع طول موجته (دستور أينشتين) فهي تنقص إذاً بمعامل $1/f$، فمما تقدم نستنتج أن كثافة الطاقة تنقص بمعامل $1/f^3$ مضروباً في $1/f$ أي بنسبة $1/f^4$ وبالتالي:

$$du' = \frac{1}{f^4}\, du = \frac{8\pi hc}{\lambda^5 f^4}\, d\lambda \Big/ [e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1]$$

فإذا كتبنا هذا الدستور بدلالة الطول الجديد للموجة أي λ'

$$du' = \frac{8\pi hc}{\lambda'^5}\, d\lambda' \Big/ [e^{\left(\frac{hcf}{kT\lambda'}\right)} - 1]$$

ولكن هذا الدستور مطابق تماماً للدستور القديم الذي يعطي du ما عدا أن درجة الحرارة T حلت محلها درجة جديدة: $T' = T/f$

إذاً نستطيع أن نستنتج أن إشعاع جسم أسود في حالة التوسع، يظل موصوفاً بدستور بلانك، ولكن درجة الحرارة فيه تنقص مع ذلك بتناسب عكسي مع أبعاد الكون، وهذا ما نوهنا إليه في الفصل الثالث.

ملحق ٥ ـ كتلة جينز

لكي يتاح لتجمع مادي أن يشكل منظومة ثقالية مترابطة (أي تتحرك جملة واحدة بحكم تجاذبها)، يجب أن تكون طاقة وضعها أعلى (بالقيمة المطلقة) من طاقتها الحرارية الداخلية. إن طاقة الوضع الثقيلة لتجمع نصف قطره r وكتلته M هي من المرتبة:

$$U \approx -\frac{GM^2}{r}$$

والطاقة الداخلية في واحدة الحجوم متناسبة مع الضغط p، فالطاقة الداخلية الكلية إذاً هي من المرتبة: $W \approx pr^3$

فالتجمع الثقالي يمكن أن يحدث إذاً، إذا كان:

$$\frac{GM^2}{r} \gg pr^3$$

ولكن نستطيع، من أجل كثافة ρ، أن نعبر عن r بدلالة M مستعينين بالعلاقة.

$$M = \frac{4\pi}{3} \rho r^3$$

فشرط التجمع الثقلي يمكن أن يكتب إذاً (بعد حذف العوامل الثابتة و حساب r من المعادلة السابقة):

$$GM^2 \gg p(M/\rho)^{4/3}$$

أو بعبارة أخرى M ≫ Mj حيث Mj هي (بتقريب أمثال عددية لا أهمية لذكرها) هي الكمية التي ندعوها كتلة جينز:

$$M_J = \frac{p^{3/2}}{G^{3/2}\rho^2}$$

فمثلاً قبل تركيب الهيدروجين كانت الكثافة الكتلية ٩,٩ × ١٠^-٢٢ غرام/سم^٣ (انظر الملحق ٣) وكان الضغط:

$$p \simeq \frac{1}{3} c^2 \rho = 0{,}3 \text{ gm/cm sec}^2$$

فكانت كتلة جينز إذاً:

$$M_J = \left(\frac{0{,}3 \text{ gm/cm sec}^2}{6{,}67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gm sec}^2}\right)^{3/2} \left(\frac{1}{9{,}9 \times 10^{-22} \text{ gm/cm}^3}\right)^2$$
$$= 9{,}7 \times 10^{51} \text{ gm} = 5 \times 10^{18} M_\odot$$

حيث M⊙ هي كتلة الشمسس. (للمقارنة: كتلة مجرتنا تقرب من 10^{11} M⊙، أي 10^{11} مرة من كتلة الشمس). وبعد تركيب الهيدروجين هبط الضغط بنسبة ١٠^٩، فهبطت معه كتلة جينز حتى القيمة:

$$M_J = (10^{-9})^{3/2} \times 5 \times 10^{18} M_\odot = 1{,}6 \times 10^5 M_\odot$$

وهذه هي كتلة الأكوام الكبيرة من الحبيبات الموجودة في مجرتنا.

ملحق ٦ ـ درجة حرارة النوترينوات وكثافتها:

تظل القيمة الكلية للمقدار المسمى (أنطروبي) ثابتة طالما أن التوازن الحراري مستمر، فمن أجل الحالة التي تعنينا هنا، يمكن أن تعطى قيمة الأنطروبي S في واحدة الحجوم وعند الدرجة T للحرارة، بالدستور التالي مع

دقة لا بأس بها $S \propto N_T T^3$ حيث N_T هو العدد الفعلي لأنواع الجسيمات الموجودة في حالة توازن حراري والتي درجة حرارة عتبتها أدنى من T. فلكي تظل الأنطروبي ثابتة يجب أن تكون S متناسبة مع مقلوب مكعب قدر الكون. أو بقول آخر إذا كانت R هي المسافة الفاصلة بين جسيمين نموذجيين لا على التعيين، يكون لدينا

$$SR^3 \propto N_T T^3 R^3 = \text{Constante}$$ ثابت

وقبل تفاني الإلكترونات والبوزيترونات مباشرة (أي قريباً من الدرجة ٥× ١٠^٩ ك) كان التوازن الحراري للنوترينوات ومضاداتها مع بقية الكون قد توقف نهائياً والجسيمات الوحيدة التي ظلت في حالة توازن حراري بأعداد كبيرة هي الإلكترونات والبوزيترونات والفوتونات. فإذا عدنا إلى جدول خواص بعض الجسيمات الأولية، نجد أن العدد الكلي لأنواع الجسيمات قبل التفاني كان:

$$N\ \text{avant} = \frac{7}{2} + 2 = \frac{11}{2}.$$

حيث (N avant تعني العدد قبل التفاني).

بالمقابل، بعد تفاني الإلكترونات والبوزيترونات خلال السوية الرابعة (الفصل الخامس) كانت الجسيمات الوحيدة التي حافظت على التوازن الحراري بأعداد كبيرة هي الفوتونات، وكان العدد الفعلي لأنواع الجسيمات عندئذ هو ببساطة $N_{après} = 2$ (حيث $N_{après}$ تعني بعد التفاني)، فالمحافظة على الأنطروبي تقتضي

$$\frac{11}{2}(TR)^3_{avant} = 2(TR)^3_{après}$$

وهذا يعني أن الحرارة الناتجة عن تفاني الإلكترونات مع البوزيترونات قد زادت الكمية TR بمعامل:

$$\frac{(TR)_{après}}{(TR)_{avant}} = \left(\frac{11}{4}\right)^{1/3} = 1{,}401$$

وقبل هذا التفاني كانت درجة حرارة النوترينوات T_ν هي ذاتها درجة حرارة الفوتونات، ولكن منذ التفاني نقصت T_ν بمعامل 1/R وصارت قيمة

TνR في كـل لحـظة بعـد التفـاني مسـاويـة لقيمـــة TR قبله:

$$(T_\nu R)_{après} = (T_\nu R)_{avant} = (TR)_{avant}$$

نستنتج من ذلك إذن أن درجة حرارة الفوتونات بعد انتهاء عملية التفـاني أصبحت أعلى من درجة حرارة النوترينوات بنسبة:

$$(T/T_\nu)_{après} = \frac{(TR)_{après}}{(T_\nu R)_{après}} = \left(\frac{11}{4}\right)^{1/3} = 1{,}401$$

وعلى الـرغم من أن النوتـرينوات ومضـاداتها تبتعـد عن حـالـة التـوازن الحراري، إلا أنها تساهم مساهمة جادة في كثـافة الـطاقة الكـونية، ذلـك لأن العدد الفعلي لأنواع النوترينو كما رأينـا هو ٧/٢، فهـو بالتـالي ٧/٤ من العدد الفعلي لأنواع الفوتونات (لأن الفوتونات لها حالتان من السببين)، كما أن القوة الـرابعة لـدرجة حـرارة النوتـرينوات هي أدنى من القـوة الرابعـة لدرجـة حرارة الفوتونات بنسبة (٤/١١)^٣/٤ فنسبـة كثافـة طاقـة النوتـرينوات إلى كثـافة طـاقة الفوتونات هي:

$$\frac{u_\nu}{u_\gamma} = \frac{7}{4}\left(\frac{4}{11}\right)^{4/3} = 0{,}4542$$

ولكن قانون ستيفان بولتزمان (انـظر الفصل الثـالث) ينص على أنـه إذا كانت درجة حرارة الفوتونات هي T فإن كثافة طاقتها هي.

$$u_\gamma = 7{,}5641 \times 10^{-15}\ \text{erg/cm}^3 \times [T(^\circ K)]^4$$

وعلى هـذا، فـإن كثـافـة الـطاقـة الكليـة بعـد تفـاني الإلكتـرونـات والبوزيترونات تصبح:

$$u = u_\nu + u_\gamma = 1{,}4542 u_\gamma = 1{,}100 \times 10^{-14}\ \text{erg/cm}^3 [T(^\circ K)]^4$$

ويمكن أن نجد كثافـة الكتلة المكافئـة لكثافـة الطاقـة هذه بـأن نقسمها على مربع سرعة الضوء. فنجد:

$$\rho = u/c^2 = 1{,}22 \times 10^{-35}\ \text{gm/cm}^3 \times [T(^\circ K)]^4$$

الجديد في الكوسمولوجية

بعد عام ١٩٧٦

لقد سرني جداً أن تتيح لي دار النشر Basic Books فرصة تقديم هذه الطبعة الجديدة من كتاب «الدقائق الثلاث الأولى» وفق أحدث التطورات.

والحقيقة أنه منذ ظهور الكتاب لأول مرة، لم يطرأ أي جديد يستدعي تغيير الخطوط العريضة في قصة نشأة الكون. فما زال الاعتقاد سائداً بأن الكون يسير في حالة توسع (بمعنى أن المجرات ينفر بعضها من بعض)، وبأن الخلفية الإشعاعية التي اكتشفت في عام ١٩٦٥، هي البقية الباقية من الإشعاع الحراري المنحرف نحو الأحمر، الذي أطلقه جسم أسود والذي كانت درجة حرارته بعد بدء الكون بـ ٠٠٠ ٧٠٠ سنة هي ٣٠٠٠ درجة. وما زال الاعتقاد سائداً أيضاً بأن خليط العناصر الخفيفة التي كانت النجوم مكونة منها ـ ٧٥ بالمئة هيدروجين و ٢٥ بالمئة هيليوم وآثارات من الدوتريوم والليثيوم إلخ ـ كان قد تكون في مرحلة التفاعلات النووية، أي عندما كان قد مر على بداية التوسع الراهن للكون ما يقرب من ثلاث دقائق على الأقل.

ومهما يكن من أمر فقد تحقق تقدم في الكوسمولوجية منذ عام ١٩٧٦، ففي مجال الرصد سار هذا التقدم في اتجاه ملء الثغرات ودرء الشكوك التي ظلت عالقة في هذه القصة. وأما في الجانب النظري، فقد اتسع جداً مجال تطبيق الأشياء الجديدة التي أتت بها نظرية الجسيمات الأولية على دراسة اللحظات المبكرة جداً للكون، أي تلك اللحظات التي كانت درجة حرارة الكون فيها أعلى بكثير من مجرد الألف مليون درجة التي كانت سائدة في عصر التركيب النووي. لذلك سأحاول في هذه العجالة إعطاء نظرة مجملة موجزة جداً عما تم منذ عام ١٩٧٦ في المجالين الرصدي والنظري.

لقد استمر الفلكيون في دراسة خلفية الكون الإشعاعية المليمترية، مع حرصهم الدائم على زيادة الدقة. وعلى الرغم من أن النتائج كانت تدل من حين إلى آخر على أن الإشعاعات الملتقطة كانت كما لو أنها في حالة توزيع جسم أسود عند الأمواج القصيرة جداً، إلا أنه لا يوجد حتى الآن وضوح تام بأن الخلفية الإشعاعية ليست إلا ما ظن فيها من أنها إشعاع حراري منحرف نحو الأحمر صادر منذ أمد بعيد في لحظات الكون المبكرة جداً عندما كان الإشعاع والمادة في حالة توازن حراري.

ولقد دُرست أيضاً دراسة مكثفة ودؤوبة كيفية توزع الخلفية الإشعاعية حسب الاتجاه (أو ما يسمى بتوزعها الزاوي)، فكانت النتائج في هذا المجال مؤسفة جداً، إذ دلت الأرصاد التي قام بها فريق بيركلي Berkeley مستعيناً بطائرة يو ٢ U2، أن هناك عدم تماثل في الجهات، وأن عدم التماثل هذا هو بالتحديد ما كان يجب توقعه فيما لو كانت منظومتنا الشمسية تتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة للخلفية الإشعاعية ـ ذلك أنه لوحظ بعض الارتفاع في حرارة الإشعاع في الاتجاه الذي نتحرك فيه، وانخفاض في درجة حرارته في الاتجاه الذي أتينا منه[1]. فإذا ما راعينا حركة المنظومة الشمسية من أنها تدور مع دوران المجرة، فإننا نستنتج بأن مجرتنا كلها تنطلق بالنسبة للخلفية الإشعاعية بسرعة تقدر بحوالي ٤٠٠ كم/ثا زيادة أو نقصاً في اتجاه كومة مجرات العذراء. وقد أمكن التوصل إلى النتيجة نفسها بطريقة أخرى، إذ أظهرت الدراسة المنهجية لانزياح الإشعاعات الصادرة عن المجرات القريبة نحو الأحمر، بأن هذه الانزياحات هي أميل إلى أن تكون أخفض في اتجاه العذراء منها في الاتجاه المعاكس، أي كما كان يجب أن نتوقع فيما لو كنا نندفع في إثر كومة مجرات العذراء بسرعة تتراوح بين ٣٠٠ و ٤٠٠ كم/ثا.

---

(١) راجع مقال «الجريان الواسع النطاق للمجرات». مجلة العلوم المجلد ٤ العدد ٤ ـ ١٩٨٨ (وقد أجريت هذه القياسات حديثاً من على متن طائرة U2. ثم تأكدت بقياسات أخرى أجريت بواسطة أجهزة موضوعة في بالونات من على ارتفاعات عالية جداً).

وهذه سرعة كبيرة، أو بالأحرى أكبر من السرعة ١٠٠ كم/ثا التي جرت العادة أن تعد هي السرعة المجرية النموذجية (ولسنا نتحدث هنا عن السرعات العالية التي تعزى للتوسع العام للكون، بل نتحدث عما يدعى السرعات الخاصة (المميزة)، أو الحيود عن هذا الجريان الكوني). وكان ج. دي فوكولور G. de Vaucouleurs من جامعة تكساس، قد اهتم لعدة سنوات بهذه الصورة التي أخذت عن السرعات المجرية المميزة الكبيرة. ويبدو اليوم أنها على وشك أن تصبح مؤكدة نتيجة لعدم التماثل في مناحي الخلفية الإشعاعية للكون، وكذلك أيضاً نتيجة لدراسة الانزياحات نحو الأحمر.

ومن النتائج المترتبة على هذه الصورة الجديدة لحركة مجرتنا، أنه يجب تغيير تقديراتنا لثابت هبل، إذ إن هذه التقديرات اعتمدت على مجرات عديدة واقعة تقريباً في كومة مجرات العذراء. لذلك، إذا كنا نسير حالياً بسرعة أكبر أو أقل في اتجاه هذه الكومة، فيجب عندئذ أن تكون سرعة هذه المجرات الناشئة عن توسع الكون بوجه عام أكبر مما يجب أن نستدل عليه من الانزياحات المشاهدة في المجرات نحو الأحمر. حتى لقد أصبح التدقيق المستمر في قياس الأبعاد خارج مجرتنا أمراً أكثر أهمية. وهكذا يمكن للمرء أن يستدل على أن ثابت هبل أكبر بعض الشيء مما سبق أن قدر في البدء - ولنقل إنه ٣٠ كم/ثا لكل مليون سنة ضوئية بدلاً من ١٥. إلا أن هذه النتيجة لم تحظ بالإجماع.

وهناك نتيجة أخرى تترتب على كبر السرعة المجرية المميزة، وهي أنه يجب أن توجد كمية من المادة في كومة مجرات العذراء أكبر بشكل واضح مما كان يفترض سابقاً. وهذه الكتلة ضرورية لإحداث حقل جاذبية قوي يكفي لتسريع مجرتنا إلى سرعة عالية في أثناء الزمن الذي مر من تاريخها. كما أن ضخامة كتل المجرات اتضحت من دراسة هذه المجرات كلاً على حدة. وقد اكتشف ف. روبن Vera Rubin من معهد كارنيغي في واشنطن، ومعه آخرون، أن سرع المجرات الدورانية لا تتناقص بتناقص بعدها عن المركز المجري (مثلما هو الحال في سرع الكواكب السيارة في المنظومة الشمسية).

أي كما كان يجب أن نتوقع فيما لو كانت كتلة المجرة مركزة بالقرب من المناطق المركزية المضيئة، بل إن هذه السرع بالأحرى، تظل عالية مهما ابتعدنا عن المركز وظل بالإمكان قياسها. وإن دل هذا على شيء فإنما يدل على وجود كمية كبيرة من المادة في الأجزاء الخارجية غير المضاءة من المجرات. وأفضل التقديرات الحالية لكثافة المادة في الكون، هي أنها تتراوح ما بين ثلث ونصف الكثافة الحرجة اللازمة لإغلاق الكون ـ أو ربما لإيقافه عن التوسع. بل يحتمل أن تكون الكثافة الكتلية مساوية للكثافة الحرجة أو حتى أكبر منها.

وفي الوقت نفسه الذي ارتفعت فيه تقديرات الكثافة الكتلية، كانت قياسات وفرة الدوتريوم تضع أمامنا حدوداً أضيق على كثافة الباريونات (أي البروتونات والنوترونات. . .). والسبب في ذلك كما نذكر، أنه كلما كانت كثافة الباريونات عالية حالياً، كان ذلك دلالة على أنها كانت عالية أيضاً فيما مضى حين وصلت درجة الحرارة إلى ألف مليون درجة، أي عند بدء تشكل النوى الذرية. وارتفاع كثافة الباريونات، يعني أن التفاعلات النووية التي تجمع نوى الهيليوم من بروتونات ونوترونات كانت قد أخذت تتم في وقت أبكر، تاركة بالتالي نسبة أقل من الدوتريوم. غير أن ما شوهد من وجود وفرة كبيرة نسبياً في الدوتريوم، يدل على أن كثافة الكتلة الموجودة حالياً على شكل باريونات، لا يتعدى نسبة مئوية ضئيلة من الكمية الحرجة اللازمة لإغلاق الكون.

وهكذا أصبحنا أمام مفارقة واضحة، فإذا كانت كثافة مادة الكون كلها تتراوح فعلاً ما بين ثلث الكثافة الحرجة وبين نصفها، وكانت كثافة الباريونات نفسها لا تتعدى نسبة مئوية ضئيلة من هذه الكتلة الكلية، فعلى أي صورة إذاً تكون كثافة مادة الكون (المتبقية)؟

ولذلك وُجِّه مؤخراً مزيد من الاهتمام إلى إمكان وجود هذه الكتلة المفقودة على شكل نوترينوات ذات كتلة. ففيما مضى، كان يعتقد عامة بأن

النـوترينـو هو جسيم معـدوم الكتلة، مثله في ذلك مثـل الفوتـون. ولم يُلاحظ لسنوات عديدة وجود أي إشارة تدل على أن هناك كتلة ما للنوترينـو. والحقيقة أنه كان هناك ما يؤكـد بأن كتلة النـوترينـو هي أقل من حـوالي جزء من عشـرة آلاف جزء من كتلة الإلكترون. أما الآن فقد بدأت تظهـر بعض الدلائـل على وجـود كتلة للنـوتـرينـو. إذ أظهـرت إحـدى التجــارب في نـوفــوسيبيـرسـك Novosibirsk اعوجاجـاً (تحريفـاً) في توزيـع طاقـة الإلكترونـات عند تفكـك التريتيوم (هيدروجين ٣) المشع. وكان هذا التحريف هو مـا يجب توقعـه فيما لو كان النوترينو (في مثالنا، النوترينو المضاد) المنبعث في هذا التفكك له كتلة تقارب ١٠ أو ٤٠ إلكترون فولت (ومما يساعد على تصور ضآلة هذه الكتلة أن كتلة الإلكترون هي ٥١١,٠٠٣ إلكترون فولت). واليوم تجري اختبارات، إما لتأكيد هذه النتيجة، أو لوضع حـد أعلى جديـد لكتلة النوتـرينو. ولا شـك أن لثبوت هذه النتيجة أهمية قصوى بالنسبة للفيزياء الفلكية. إذ يتوقع أن يكون قد بقي من النوترينوات والنوترينوات المضادة منذ ساعات الكـون المبكرة، بقـدر ما بقي من الفوتونات في الخلفية الإشعاعية المليمترية، أي ما يتـراوح بين مئة ألف مليون وعشرة آلاف مليون نوترينو ونـوترينـو مضاد مقـابل كـل بروتـون أو نـوترون. وقـولنا إن كتلة النـوترينـو هي ١٠ إلكترون فـولت أو أكثـر، يعني أن النوترينوات لا الجسيمات النووية هي المُزَوِّد الأكبر لكثافة كتلة الكون. أضف إلى ذلك أن النوترينوات ذات الكتلة لا تخضع للقوى غيـر الثقاليـة التي تدفـع الجسيمات النووية والإلكترونات نحو الأجزاء المركزية في المجرات، ولذلـك فهي مؤهلة لأن تشكل المادة المظلمة الغامضة، الواقعة في الأطراف الخارجية من المجرات وأكوام المجرات (وهناك إمكانية أخرى ظهرت حديثاً جداً مفادها أن الكتلة المفقـودة هي على شكل فـوتينوان ـ وهي جسيمـات افتراضيـة تشبه النوترينوات كثيراً في تأثيراتها المتبادلة ولكنها أثقل منها بكثير وأندر منها)[١].

ترى ما الذي نتوقعه فيما لـو استندنـا مسبقاً إلى أن للنـوترينـو كتلة؟ لقد

---

(١) راجع مجلة العلوم المجلد ٣ ـ العدد ٦، ١٩٨٧: «هل الطبيعة فائقة التناظر».

جرت العادة أن يقـال لا بد أن يكـون النوتـرينو بـلا كتلة، وذلك بسبب قـانون الانحفاظ المعروف باسم قانون انخفاظ العدد اللبتوني (الذي ذكر باختصار في الفصل الرابع). فالنوترينو الذي سبينـاته ـ حسب حـركته ـ متجهـة إلى اليسار (أي أنها تأخـذ اتجاه الأصبـع الوسـطى المثنية من اليـد اليسرى فيمـا لو وجـه الإبهام في اتجاه حركة النوترينو)، هذا النـوترينـو يختص بعدد لبتوني يساوي + ١، في حين أن العدد اللبتوني للنوترينو المضاد الذي سبيناته إلى اليمين هو ـ ١. و ينص قانون انحفاظ العدد اللبتوني على أن العدد الكلي للبتونات في أي منظومة، لا يتغير. إذاً، إذا كان للنوترينو كتلة، فعندئذ لا بد أن تكـون سرعتـه في أثناء حركتـه أقل دائمـاً من سرعـة الضوء. ولكن التمييـز عندئـذ بين سبين يساري الكفية وبين سبين يميني الكفيـة، يفقد معنـاه المطلق، لأن السيـر مع النـوترينـو في اتجاه حـركته، وبسـرعة أكبـر من سرعتـه، يقلب اتجاه حـركتـه الظاهرية ولكنه لا يقلب سبينه. الأمر الذي يعني أنه بمجـرد تغيير وجهـة النظر (أي منظومة الإرجاع) يمكن قلب النوترينو اليسـاري الكفية إلى نـوترينـو مضاد يميني الكفية، أو بالعكس (وهذا يعني أن العدد اللبتوني للنوترينو نفسـه يمكن أن يتبدل من + ١ إلى ـ ١، أي ليس لعدده اللبتوني قيمة مطلقة، الأمر الذي يتنافى مع مبدأ انخفاظ العدد اللبتوني). لـذلك، إذا كـان العدد اللبتـوني لأي منظومة مصاناً ولا يتغير، فعندئذ لا بد من افتـراض أن حركـة كهذه هي حـركة مستحيلة، بمعنى أنه للخلاص من تنـاقض كهذا، كـان لا بد من افتـراض أن النوترينو عديم الكتلة، إذ لا يمكن عندئذ أن يوجد مراقب يتحرك بسـرعة أكبـر من سرعته (المساوية لسرعة الضوء)[1].

على أن انحفـاظ العدد اللبتوني هو أمـر شديـد الوضـوح (لمـا فيـه من تضييق على حدود نسبة مختلف العمليات التي لا تحافظ على العدد اللبتوني،

---

(١) لا يمكن تطبيق هذه الحجة على الإلكترون ومضاده. لأن الإلكترون ومضـاده، يمكن أن يكونـا كلاهما يمينيين أو يساريين. ولو كانت هذه هي حـال النوتـرينو، لأمكن عنـدئذ افتـراض أن له كتلة دون انتهاك انحفاظية العدد اللبتوني.

مثلما فيه تضييق على كتلة النوترينو). ولا يوجد شيء واضح يعارضه. لذلك يمكن أن نتساءل: إذا كان العدد اللبتوني غير مصان، فلماذا يجب أن يكون مصاناً بشكل تقريبي جيد؟ إن ميلنا إلى الشك في دقة انخفاظية العدد اللبتوني، يعود، في جزء منه على الأقل، إلى التحسن الذي طرأ على فهمنا للتأثيرات المتبادلة بين الجسيمات الأولية، الأمر الذي أوصلنا إلى جواب مقنع حول هذا السؤال الذي طرحناه.

فما نصل إليه إذاً، هو أنه إذا كانت أنماط الجسيمات الموجودة حالياً في نظرية التأثيرات المتبادلة بين الجسيمات الأولية، هي الأنماط الوحيدة المعروفة سابقاً، فعندئذ يكون مبدأ الانحفاظ اللبتوني صحيحاً تلقائياً، إذ إن هذه النظريات مقيدة بكل إحكام بقوانين انحفاظ أخرى وبمباديء تناظر، بحيث لا يمكنها أن تكون معقدة إلى الحد الكافي الذي يجعلها تخرق مبدأ الانخفاظ اللبتوني[1]. أما إذا وجدت أنماط أخرى من الجسيمات، فعندئذ يمكن لانحفاظية العدد اللبتوني أن تُخرق، ولكن هذه الجسيمات الغريبة يجب أن تكون ثقيلة جداً (وإلا لأمكن كشفها بسهولة)، كما أن انتهاكاتها لانحفاظ العدد اللبتوني يجب أن تكون ضعيفة بما يناسب هذا الأمر (أي ثقل الجسيمات الغريبة). وهكذا أصبح لدينا الآن أساس نظري نستطيع أن نفهم فيه بصورة طبيعية (ودون أن يترتب علينا الاعتقاد بقانون انحفاظية دقيق يجعل العدد اللبتوني صفراً) لماذا يجب أن تكون الكميات التي هي من قبيل كتلة النوترينو صغيرة جداً.

وهذه الملاحظات نفسها تنطبق على قانون انحفاظ آخر هو قانون انحفاظ العدد الباريوني، مع كل ما يترتب على هذا التغيير من نتائج هامة بالنسبة للكوسمولوجية، فحسبما ورد في الفصل الرابع، إن العدد الباريوني في أي منظومة هو العدد الكلي من البروتونات والنوترونات (بالإضافة إلى

---

(١) أرى من واجبي أن أقول للمختصين بأني أستند هنا إلى نظريات الحقل التي توصف بأنها نظومة Renormalisable.

جسيمات مرتبطة بها تسمى هبرونات)، مطروحاً منها عدد الجسيمات المضادة لهـا (البروتـونات المضـادة والنوتـرونات المضـادة والهبرونـات المضـادة) التي تحويها المنظومة. وكان قانون انحفاظ العدد الباريوني قد اقترح في البدء لكي يفسر السبب في أن المادة تعمر طويلاً. فالبروتونـات على سبيل المثـال يمكن أن يتيح لها قانون انحفاظ الطاقة والعزم الزاوي والشحنـة، بأن تتفكـك داخل نـوى جميع الـذرات، إلى بوزيتـرونات وفـوتونـات. ولكننا نعلم مـع ذلك أن متوسط عمر البروتونات هو أطول بكثير من عمر الكون. فـالانحفاظ البـاريوني هو الذي يمنع البروتونات من التفكك (ذلك أن العـدد الباريـوني للبروتـون هو + ١، في حين أن العدد الباريوني للبوزيترونات والفوتونـات الناتجـة في نهايـة التفكك هو صفر). وهكذا يمكن تفسير استقرار المادة الظاهر للعيان.

فنظرياتنا الحالية عن التأثيرات المتبادلـة بين الجسيمات الأوليـة، تجعل أمـر انحفاظ العدد الباريـوني، كما في حـالة الانحفـاظ اللبتوني، أمـراً لا مفر منه، بشرط أن تكون أنماط الجسيمات الموجودة هي تلك التي ألفناها سابقاً. ولكن إذا وجدت، كما في السابق، جسيمات غريبة (لم تكتشـف بعـد) عندئـذ تصبـح عملية تفكـك البروتـون، التي لا تحـافظ على العـدد البـاريـوني، هي عمليـة ممكنة، ولكن بنسبـة ضئيلة جداً بسبب ضخـامة كتلة هـذه الجسيمات التي تعيق هـذه العملية. ذلـك أننا لـو أردنـا تفسيـر مـا نشـاهـده من استقـرار البروتون، لوجب علينا أن نفرض بأن كتلة هـذه الجسيمات الغـريبة، أكبـر من حـوالي مئة مليـون المليون مـرة من كتلة البروتـون. وهذه كتلة قـدتبدو لشـدة ضخامتها غير معقولة، إلا أن هناك أسباباً ـ بالنظر إلى أننا يجب أن نتعامـل مع ثقالة كمومية ومع النظريات التي تدعى نظريات التوحيد الكبير ـ لكي نتوقع أن تكون الكتل التي تبلغ هـذا القدر، أو حتى أكبـر منه، هي مهمـة جداً بـالنسبة للفيزياء. ولذلك تُهيأ الآن تجارب في الولايات المتحدة وأوروبة وآسية للبحث عن تفكك بطيء للبروتونات (والنوترونات) في المواد العادية، كالماء والحديد والخرسانة[١].

---

(١) يمكن للقـاريء أن يجد معلومـات أكثر حـول تفكك البـروتون في مقـالتي «تفكك البـروتـون» =

إن الكون نفسه يعطينا دلالة إيجابية على أن العدد الباريوني غير مصان. إذ يبدو في الجزء الذي نستطيع مشاهدته من الكون أن هناك فائضاً كونياً في المادة على المادة المضادة. وبالتالي هناك كثافة موجبة في عدد الباريونات. وقد درسنا في الفصل الثالث أن قياسات درجة حرارة الأمواج المليمترية الكونية التي تشكل خلفية إشعاعية في الكون، بالإضافة إلى تقديرات كثافة المادة في العالم، أتاحت لنا أن نستنتج أن نسبة عدد الباريونات في كوننا الحالي إلى عدد الفوتونات، هي تقريباً واحد إلى ألف مليون. وكان بالإمكان طبعاً أن نفرض أن هذه النسبة (باريونات إلى فوتونات) كانت قد وجدت هكذا منذ البدء. ولكن إذا فرضنا أن هذه النسبة قد أتت نتيجة لعدم انحفاظ العدد الباريوني في بعض العمليات الطبيعية فإن هذا سيبدو ممتعاً وطريفاً أكثر بكثير. (ولقد تقدمت باقتراح حول هذه الأمور منذ عام ١٩٦٤، كما أن تجربة على الأقل من بين التجارب المبكرة التي بحثت تفكك البروتون في جامعة ستوكهولم وفي معهد نوبيل، كانت قد أجريت بدافع كوسمولوجي من هذا القبيل). واليوم، لا بد أننا قادرون على حساب النسبة الحالية لعدد الباريونات إلى عدد الفوتونات، وذلك بمتابعتنا لسير العمليات التي لا تحافظ على العدد الباريوني في أثناء التوسع الكوني.

وكان أندريه زاخاروف André Sakharov قد أعطى الخطوط العريضة لهذه الحسابات في عام ١٩٦٧، وتبعه في ذلك منذ زمن قريب يوشيمورا M. Yoshimura عام ١٩٧٨. ثم قام، بعد بحث يوشيمورا، عدد من النظريين في برنستون وهارفارد وستانفورد والمركز الأوروبي للبحث النووي CERN بمحاولة لإعطاء وصف تفصيلي لتولد الباريونات في الكون عند نشأته المبكرة. وهكذا أخذت تتوضح شيئاً فشيئاً صورة مقبولة لتولد الباريونات، أو

= المنشورة في عدد حزيران من عام ١٩٨١ في مجلة Scientific American. (كما يمكن أن نجد معلومات عن هذه الجسيمات الغريبة في مجلة العلوم، عدد ديسمبر/كانون أول عام ١٩٨٧: «هل الطبيعة فائقة التناظر».

باختصار أصبح باستطاعة المرء أن يلاحظ أنه، عند بدايات الكون المبكرة جداً، أي عندما كان الكون حاراً بشكل يفوق الوصف، كانت الجسيمات ـ حتى الثقيلة منها ـ هي وجسيماتها المضادة المساوية لها عدداً، متوافرة بأعداد تداني أعداد الفوتونات. فإذا كانت هذه الجسيمات من النمط «الغريب» الذي أتينا على ذكره في البدء، والذي يمكن لتأثيراته المتبادلة أن تخرق انخفاظية الباريونات (واللبتونات)، عندئذ يمكن لهذه الجسيمات أن تتفكك إلى حالات يكون فيها «معدل العدد الباريوني الصافي النهائي غير متلاشٍ بالضرورة. ومع ذلك، إذا كانت عملية التفكك تساير التناظر التام بين المادة وبين المادة المضادة، فعندئذ يجب أن يتلاشى العدد الباريوني المتولد من تفكك أحد هذه الجسيمات، مع العدد الباريوني المساوي والمعاكس له المتولد من تفكك الجسيم المضاد له. ولكن سبق أن اكتشف بالتجربة في عام ١٩٦٤ بأن التأثيرات المتبادلة بين الجسيمات الأولية، ليست في حقيقة الأمر تامة التناظر بين المادة والمادة المضادة، غير أن هذا اللاتناظر صغير جداً، مثلما أن نسبة الباريونات إلى الفوتونات الناتجة في بدايات الكون الأولى، هي أيضاً بالمقابل صغيرة. وهذه نتيجة رائعة فعلاً، لأن النسبة باريونات/فوتونات هي نسبة صغيرة جداً وتقرب من باريون واحد مقابل كل ألف مليون فوتون. غير أن قيم هذه النسبة، ليست مؤكدة، لا تجريبياً ولا نظرياً، لذلك لا يمكن أن نعتمد عليها في اختبار هذه الأفكار فيما لو شئنا اختباراً نقدياً صارماً في وقتنا الحاضر.

وعلى كل حال، فإن من المفروض أن هذه الأحداث كلها قد جرت في وقت مبكر جداً جداً، أي عندما كانت درجة الحرارة في سوية الألف مليون مليون مليون مليون درجة. وكانت هناك أحداث هامة أخرى قد بدأت تأخذ مجراها في ذلك الوقت أو قريباً منه. وقد درسنا في الفصل الخامس متى تم الانتقال في الكون من طور إلى طور، أي تلك اللحظات من تاريخ تمدد الكون وابترادِه التي أعادت المادة فيها تنظيم نفسها لتأخذ وضعاً أقل تناظراً، أي كما هو حال الماء الذي يفقد تجانسه ويتجمد على شكل شبكة من

الجليد. إن أحد هذه الانتقالات المذكورة في الفصل الخامس، كان قد حدث متأخراً نسبياً، وذلك عندما هبطت درجة الحرارة إلى ألف مليون مليون درجة، فقط، مؤذناً بذلك بحدوث انكسار في تناظر «المعايرة» الذي يسود التأثيرات المتبادلة الضعيفة والكهرطيسية. ومن المعقول جداً أن يكون هناك انتقال آخر في الطور كان قد حدث في وقت أبكر من ذلك قبل أن تولد الباريونات في الكون بقليل. وفيه بدأ انكسار نوع من تناظر التوحيد الكبير الذي يربط التأثيرات المتبادلة الضعيفة والكهرطيسية مع التأثير المتبادل النووي القوي.

إن انتقالات الطور هذه، يمكن أن تصنف في نوعين مختلفين. إذ يمكن أن يكون انتقال الطور من «المرتبة الأولى»، مثلما هو حال تجمد الماء، حيث تتغير حال المادة فجأة (وليس تدريجياً) محررة بذلك كمية من الحرارة التي تدعى الحرارة الكامنة. أو يمكن أن يكون الانتقال من «المرتبة الثانية» مثلما هو حال التمغنط التلقائي في حديد مغناطيسي حين تهبط درجة الحرارة إلى ما دون قيمة حرجة. وبهذه الطريقة تتبدل حال المادة بشكل لطيف (تدريجي) دون أن تطلق حرارة كامنة. وفي السابق كان يُفترض بأن انتقالات الطور الكوسمولوجية هي من المرتبة الثانية، أو أنها قد تكون شكلاً واهناً من المرتبة الأولى، ولكن مع عدم تبدل مفاجيء تقريباً في حالة المادة، ومع كمية قليلة جداً من الحرارة الكامنة. ولكن السيد غوث A. Guth من معهد ماساتشوستس للتكنولوجية MIT، لاحظ أن عدداً من مشاكل الكوسمولوجية المعلقة، يمكن أن يحل، فيما لو كانت انتقالات الطور المبكرة التي انكسر فيها تناظر التوحيد الكبير، هي شكلاً عنيفاً من المرتبة الأولى.

فمن النتائج المترتبة على انتقال الطور العنيف، أن المادة يمكن أن تظل لفترة من الزمن في الطور الخطأ، بمعنى أن وضعها عندئذ يشبه وضع الماء الذي بُرِّد إلى ما دون درجة التجمد الطبيعية، أي الصفر، دون أن يتسنى له وقت بعد، مع ذلك، لأن يتحول إلى جليد. إن هذه الفترة، فترة فرط التبريد، تهيء للكون فرصة إخفاء نهائي لأي لاتجانس ابتدائي، أو أي عدم

تماثل في الجهات. وبدون عصر كهذا ذي برودة مفرطة، سيكون من الصعب جداً أن نفهم لماذا كانت الخلفية الإشعاعية المليمترية الآتية من نقاط واقعة في اتجاهات متعاكسة في السماء، لها درجة حرارة واحدة، في حين أن هذا الإشعاع يأتينا من نقاط متباعد بعضها عن بعض، ومنذ أزمان مبكرة جداً، بحيث أنه ما كان من الممكن أن يكون في تاريخ الكون وقت كاف لكي يمكن لأي تأثير أن يبلغ هذه النقاط من أي مصدر عام مهما كان.

كما يمكن لمرور فترة مفرطة الابتراد أن تحل مسألة أخرى، وهي مسألة وحيدات القطب المغناطيسي. إذ توجد جسيمات تحمل قطباً مغناطيسياً معزولاً ـ شمالي أو جنوبي ـ دون أن يقابلها قطب معاكس. ووحيدات القطب المغناطيسي هذه، كان قد افترض وجودها منذ ما يقرب من نصف قرن ب. آ. م. ديراك P.A.M. Dirac. ولكن العمل الذي قام به ج. هوفت G.t Hooft، هو الذي برهن منذ سنوات قليلة أن وحيدات القطب المغناطيسي هي مكونات ضرورية في نظريات التوحيد الكبير التي تفسر التأثيرات المتبادلة بين الجسيمات الأولية. وفيما بعد نبه ج. برسكيل J. Preskill من هارفارد، وخلوبوف Khlopov وزيلدوفتش Zeldovich من الاتحاد السوفياتي إلى أن وحيدات القطب المغناطيسي لا بد أنها قد تولدت عند انتقال طور التوحيد الكبير المبكر جداً، وبأنها تولدت بأعداد كبيرة بحيث أن العدد الحالي اليوم أضخم مما يتاح مشاهدته[1]، ولكن من الجائز كما أشار غوث Guth أن تكون كثافة وحيدات القطب قد خفت جداً نتيجة لتوسع الكون في أثناء عصر فرط الابتراد، إلى درجة أصبحت معها متسقة مع المشاهدات.

وأخيراً، يمكن للحرارة الكامنة المحررة عند انتقال الطور المتأخر من المرتبة الأولى أن يفسر إحدى الحقائق المذهلة عن الكون، رغم أنها ظاهرة جداً للعيان ـ ألا وهي أن في الكون أشياء وجسيمات متنوعة لا حصر لها. إذ

(١) لم يكتشف أحد بعد بيقين وجود وحيدات قطب مغناطيسي. ومع ذلك هناك تقرير ورد من ستانفورد عن حالة فريدة مبشرة.

نعرف على سبيل المثال أن عدد الفوتونات في الكون يساوي على الأقل $١٠^{٨٧}$ (أي واحد وعلى يساره ٨٧ صفراً). وهذا الأمر يمكن أن يفسر بالحرارة الكامنة المحررة بعد عصر فرط الابتراد، الذي توسع فيه الكون بمعامل قدره $١٠^{٢٩}$. ولكن لم نجد سبيلاً بعد للأسف لأن نرى لماذا يظل الكون طيلة هذا الوقت في الطور الخطأ. أو حتى إذا صح أنه مرّ فيه فكيف استطاع الخلاص منه؟

لا شك أن العمل الذي تم حول اللحظات المبكرة جداً من عمر الكون هو عمل يمثل تقدماً أكيداً، ولكنه تقدم من النوع التصوري المجرد، ذلك أنه يُقدَّم بمنأى عن المشاهدات الراهنة للكون. فنحن اليوم (في عام ١٩٨٢) لسنا أكثر يقيناً مما كنا عليه في عام ١٩٧٦ في فهمنا لأصل البنى التي تعمر كوننا من مجرات وعناقيد مجرات. لذلك حالما نوجه أبصارنا نحو السماء ليلاً، نشعر وكأن القوس الكبيرة التي يرسمها درب اللبانة، أو البقعة المضيئة الباهتة التي يظهر فيها سديم المرأة المسلسلة، ما زالا يسخران منا ومن جهلنا المطبق.



مطبعة خالد بن الوليد ـ دمشق

عدد الطبع ١٠٠٠ نسخة

دمشق ١ / ٦ / ١٩٩٠



الدار المتحدة
للطباعة والنشر

سوريا - دمشق - شارع مسلم البارودي - بناء خولي وصلاحي رقم ٣٧
هاتف ٢١٢٧٧٣ - ص.ب ١١٧٢١ - برقياً : بيوشران - تلكس ٤١١٥٢٩ رحبول

مطبعة خالد بن الوليد